



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE SEMIMOBILNÍHO TŘÍDÍCÍHO ZAŘÍZENÍ NA ŠTĚRKOPÍSEK

DESIGN OF SEMIMOBILE SCREENING DEVICE FOR GRAVEL SAND

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PAVEL KALA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DANIEL KOUTNÝ, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Pavel Kala

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Konstrukční inženýrství (2301T037)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Konstrukce semimobilního třídícího zařízení na štěrkopísek

v anglickém jazyce:

Design of semimobile screening device for gravel sand

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh semimobilního třídícího zařízení na štěrkopísek s těmito parametry: mokré třídění, vytríděné frakce by měly dosahovat rozměrů 0-5mm, 5-20mm, 20mm a více. Výkon stroje cca 100tun/hod. Při rozložení jednotlivé části stroje nesmí přesahovat přepravní rozměry kamionu ani železničních vagónů.

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce musí obsahovat:

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Formulaci řešeného problému a jeho technickou a vývojovou analýzu
4. Vymezení cílů práce
5. Návrh metodického přístupu k řešení
6. Návrh variant řešení a výběr optimální varianty
7. Konstrukční řešení
8. Závěr (konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení)

Typ práce: konstrukční

Účel práce: pro průmysl

Seznam odborné literatury:

SHIGLEY, J. E, MISCHKE, Ch. R, BUDYNAS, R. G. KONSTRUOVÁNÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ. VUTIAM, 2008. 1300 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Daniel Koutný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 19.11.2009

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomové práce se zabývá návrhem konstrukce semimobilního zařízení pro třídění štěrkopísků. Práce popisuje konstrukční návrh jednotlivých částí stroje. Součástí práce jsou také kontrolní výpočty vybraných konstrukčních uzlů včetně finálních ověřovacích výpočtů a měření.

KLÍČOVÁ SLOVA

Semimobilní třídíč, třídění, budič vibrací, síta, písek, štěrk, recyklace

ABSTRAC

Diploma thesis deals with design of semimobile device for sorting sand and describes design of machine parts. This thesis includes checking calculations of selected structural elements and final verification of calculations and measurements.

KEY WORDS

Semimobile sorter, sorting, vibration exciter, sieve, sand, gravel, recycling

Bibliografická citace

KALA, P. *Konstrukce semimobilního třídícího zařízení na štěrkopísek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 81 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Daniel Koutný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně za pomoci uvedené literatury a pod odborným vedením ing. Daniela Koutného Ph.D.

V Brně dne

.....
Pavel Kala

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu ing. Danielu Koutnému Ph.D. za ochotnou spolupráci i za čas, který mi věnoval při konzultacích. Také bych chtěl poděkovat panu ing. Stanislavu Markovi za odborné konzultace a cenné rady při vytváření této diplomové práce.

Pavel Kala

OBSAH

OBSAH	11
ÚVOD	13
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
1.1 Popis základních pojmů	14
1.1.1 Třídění	14
1.1.2 Semimobilní třídící jednotka	14
1.1.3 Suché třídění	14
1.1.4 Mokrý třídění	14
1.2 Princip funkce třídící jednotky	15
1.3 Způsoby třídění	16
1.4 Třídící plochy mechanických třídíčů	18
1.4.1 Roštnice	18
1.4.2 Ocelová síta	18
1.4.3 Nekomovná síta	20
1.5 Základní prvky konstrukce semimobilního třídíče	21
1.5.1 Geometrie konstrukce	21
1.5.2 Rám	21
1.5.3 Třídíč	22
1.5.4 Skluzy	25
2 FORMULACE PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA	27
2.1 Formulace řešeného problému	27
2.2 Požadavky výrobce	27
2.3 Technická analýza problému	27
2.4 Vývojová analýza	28
3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE	29
4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ	30
5 NÁVRH ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	31
5.1 Koncept semimobilního třídíče	31
5.2 Třídící jednotka	32
5.3 Rám	32
5.4 Skluzy	33
5.5 Pracovní plošina	35
6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ SEMIMOBILNÍ TŘÍDICÍ JEDNOTKY	36
6.1 Třídící jednotka	37
6.1.1 Sestava budiče vibrací	41
6.1.2 Kontrolní výpočet pera na hřídeli budiče	42
6.2 Kontrolní výpočty třídíče	42
6.2.1 Modální analýza	42
6.3 Uložení třídíče	44
6.4 Rozložení napětí v konzole pružin	47
6.5 Rám třídíče	50
6.5.1 Spodní díl rámu	50
6.5.2 Horní díl rámu	51
6.5.3 Podpěra skluzu	53
6.5.4 Pevnostní analýza rámu	54

6.6	Skluzy	58
6.6.1	Posuvný skluz	59
6.6.2	Pevný skluz	60
6.6.3	Otočné skluzy	60
6.6.4	Skluz podsítný	61
6.7	Pracovní plošina	62
6.8	Výroba	65
6.8.1	Výkresová dokumentace	65
6.8.2	Výroba stroje	66
6.8.3	Měření odpružení třídiče	68
	ZÁVĚR	74
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	75
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	77
3.2	Seznam obrázků	79
3.3	Seznam tabulek a grafů	80
	SEZNAM PŘÍLOH	81

ÚVOD

Pojmy ekologie a recyklace provázejí veškerou výrobu, ať v průmyslu nebo v jakémkoliv jiném odvětví. Proto se v průmyslu objevují stále nové cesty pro výrobu strojů a zařízení určených k ochraně životního prostředí nebo recyklaci odpadů.

Jednou z prvních společností v České Republice, která se začala zabývat problematikou recyklace stavebních odpadů je firma RESTA s.r.o. Přerov. Tato společnost je v současnosti největším českým výrobcem v oblasti mobilních třídících a drticích strojů a jedním z největších provozovatelů této techniky v České republice. Jelikož od roku 2008 spolupracuji s konstrukční kanceláří firmy RESTA s.r.o., zvolil jsem téma diplomové práce právě z oblasti konstruování strojů na třídění a recyklaci.

V předcházejících dvou letech jsem s touto firmou spolupracoval na projektech, které se zabývaly zlevněním a zefektivněním výroby. Náplní práce bylo překonstruovat některá zařízení na vyráběných strojích.

Následující spolupráce s touto firmou spočívala v navržení konstrukce semimobilního třídíče, který by rozšířil nabídku strojních zařízení zejména pro východní Evropu. Rozhodl jsem se proto pro komplexní návrh nového zařízení, které se firma rozhodla vyrábět.

Jedná se o stroj pro třídění sypkých materiálů. Zařízení bude provozováno v pískovnách, lomech či areálech pro zpracování materiálu jako jsou např. písek, štěrk, uhlí, lomový kámen atd.). Třídíč separuje jednotlivé frakce zrn z těžného materiálu a přetříděný materiál odvádí k dalšímu zpracování nebo na úložiště.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1.1 Popis základních pojmů

1.1.1 Třídění

Třídění je proces separace částic materiálu na různé frakce, třídy nebo kategorie. Tříděním se materiál dělí podle velikosti zrna bez ohledu na jeho složení. Zrna jsou od sebe separována podle své velikosti nebo hmotnosti [2].

Třídění kameniva ovlivňuje několik základních faktorů. Prvním a výchozím faktorem se stává požadavek zákazníka na výstupní frakci. Dalšími faktory jsou druh kameniva, jeho vlhkost a množství jílových částic. Podle těchto faktorů se pak stanoví třídící proces (suchý/mokrý) a velikost třídiče.

Označení jednotlivých frakcí zaštiťuje norma ČSN EN 933_1 a vlhkost těchto frakcí pak norma ČSN EN 932_2. Tyto normy jsou také důležité k získání certifikátu jakosti pro přetříděnou surovinu.

Základní hodnoty používaných frakcí jsou:

Tab. 1 Druhy frakcí

0/4	4/8	8/16	16/32	32/63	63/120
-----	-----	------	-------	-------	--------

Pozn.: tzn., že např. ve frakci 8/16 se nacházejí jen kamenivo v rozmezí 8-16mm.

1.1.2 Semimobilní třídící jednotka

Semimobilní třídící jednotkou se rozumí stroj (třídič), který je zpravidla součástí třídící linky, není mobilní, ale zároveň není nijak upevněn k podloží, což zjednodušuje jeho následnou manipulaci (např. při stěhování linky). Vzhledem k hmotnosti stroje však musí být podloží zpevněno betonovým základem. Jeho funkce spočívá v třídění sypkých materiálů (štěrkopísků), které se při průchodu strojem separují a výsledným produktem jsou pak různé frakce (velikost zrn) materiálu, které se pomocí pásových dopravníků dopravují na úložiště.

1.1.3 Suché třídění

Je třídění materiálu tzv. suchou cestou. To znamená, že materiál, který je přesíván na sítěch, není zkrápěn (proplavován) pomocí proudu vody. Tento způsob se používá pro stavební sutě, lomový kámen nebo výjimečně na písky s minimálním podílem jílu. Pro tento způsob třídícího procesu se používají zpravidla ocelová síta.

1.1.4 Mokrý třídění

Je třídění materiálu, které se používá zejména v pískovnách a tam, kde je materiál lepkavý a obsahuje jílovité složky. Materiál je na sítěch proplavován proudem vody. Pro tento způsob třídění se používají zejména plastová síta, která lépe odolávají abrazi a korozi. Také je velice důležité u této technologie zajistit dostatečný přívod a odvod vody. Množství vody používané v těchto systémech se pohybuje v řádech tisíců litrů za hodinu podle velikosti třídiče a počtu sít.

Semimobilní třídiče (*Semimobile screening unit*)

Jsou stroje specializované pro těžební průmysl. Jejich používání pro třídění kamene či písku započalo v 20. století. Technologie spojená s tříděním se neustále

vyvíjí s ohledem na ekologii a ekonomické aspekty. Mnoho firem zejména ve stavebnictví si dnes tyto stroje pořizuje spolu s drtičem kamene (suti) a recykluje tak buďto své zmetkové výrobky (patníky, obrubníky, skruže, atd.) nebo suť z demolic, kterou tvoří v převážné většině cihly, kámen, beton a úlomky dřeva. Získanou surovinu pak dále využívají jako přídatnou surovinu pro své nové výrobky nebo jako stavební podsypový materiál.

Konstrukci třídičů lze rozdělit na čtyři základní typy:

Mobilní – třídící zařízení je stroj, který se může pohybovat. Jedna z variant mobilního třídiče je vlečná konstrukce. Jedná se o uložení celého stroje na dvou nápravách, přičemž jedna z nich je otočná a pomocí oje se pak přepravuje za nákladním vozem. Druhou variantou je pak stroj vybavený pásovým podvozkem. Tento podvozek však slouží jen pro manipulaci se strojem v rámci areálů. Pro jeho delší přepravu je zapotřebí návěs a tahač.

Kontejnerový – toto řídicí zařízení je navrženo tak, aby se dalo přepravovat pomocí nákladního vozu, který má nástavbu pro přepravu odpadních kontejnerů. Jedná se zejména o menší třídící zařízení.

Semimobilní – konstrukce (rám) tohoto třídiče je umístěna na zpevněném povrchu, ale není k němu nijak uchycena. Rám se zpravidla skládá z více dílů, protože vzhledem k rozměrům těchto zařízení se musí konstrukce pro přepravu rozebrat.

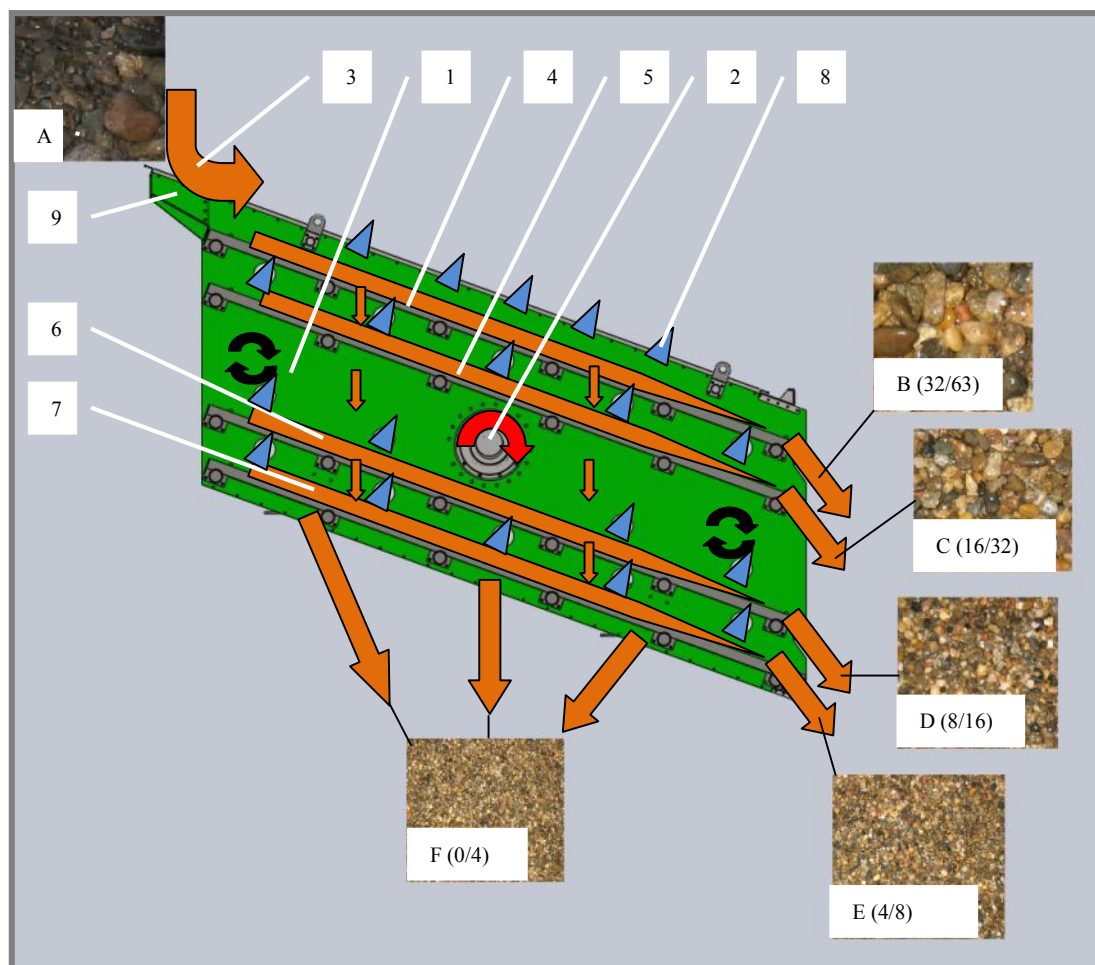
Stabilní – tyto třídiče patří zpravidla k těm největším a nejvýkonnějším strojům. Vzpěry rámu jsou zabetonovány nebo pevně uchyceny k základové desce.

1.2 Princip funkce třídící jednotky

1.2

Pro popis funkce je vybrán čtyřsítý model třídiče (obr. 1-12). Jedná se o třídič s kruhovým buzením, který je uložen na vinutých pružinách.

Vibrace třídiče (obr. 1-12, 1) jsou způsobovány budičem vibrací (obr. 1-12, 2), který koná rotační pohyb. Tím vzniká kruhové buzení třídiče. To je naznačeno černými šipkami. Materiál se přivádí do třídiče nejčastěji pomocí pásového dopravníku a dopadá na násypku třídiče (obr. 1-12, 9). Zrna vstupního materiálu (obr. 1-12, A) jsou různě veliká a materiál obsahuje nežádoucí nečistoty, převážně jíl nebo další složky zeminy. Pokud je toto znečištění materiálu nežádoucí používá se zkrápění třídících ploch. Tím se jílovité složky z materiálu vyplaví. Zkrápěcí trysky reprezentují modré trojúhelníky (obr. 1-12, 8). Materiál tak prochází přes plochu první sítové plochy a zároveň se promývá vodou. Materiál s velikostí menší než je okatost síta první sítové plochy, propadne na spodní sítovou plochu (obr. 1-12, 5). Materiál stejné velikosti nebo větší (obr. 1-12, B) pokračuje po první sítové ploše a na jejím konci je skluzem odváděn v převážné většině na pásový dopravník a tím je odveden na skládku materiálu nebo do zásobníků. Tento proces pokračuje obdobně na druhé, třetí i čtvrté sítové ploše, kde je materiál znovu zkrápěn, a vytříděný materiál je odváděn skluzy na pásové dopravníky.



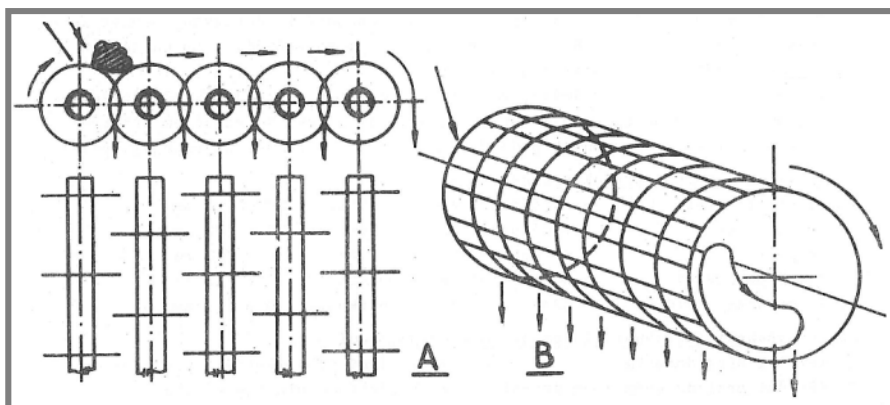
Obr. 1-1 Princip funkce třídíče

Ze čtyřsítového třídíče nám pak vystupuje pět přetříděných frakcí, z první sítové plochy je to frakce B, z druhé C a z třetí sítové plochy frakce D, která má většinou již třetinou velikost zrn na rozdíl od frakce B. Na poslední sítové ploše (obr. 1-12, 7) se třídí frakce E a F. Frakce E odchází s předchozími frakcemi přední částí třídíče zpravidla jedním vícevrstevním skluzem. Frakce F pak odchází podsítným skluzem, který má své vstupní rozměry o něco větší než půdorys třídíče, nebo se pod třídíč umístí pásový dopravník, kterým se materiál odvádí. Použití tohoto pásového dopravníku je ale omezeno pouze na suchý proces třídění.

1.3 Způsoby třídění

Třídění na pohyblivých rošttech (obr. 1-2A)

Tento způsob třídění se využívá pro hrubé třídění. Materiál je unášen pohyblivým roštovým elementem, který koná rotační nebo kyvný pohyb. Velikost jednotlivých kusů materiálu je dána vzdáleností propadových mezer mezi elementy.



Obr. 1-2 Třídění pohyblivým roštem a rotací [1]

Třídění rotací (obr. 1-2B)

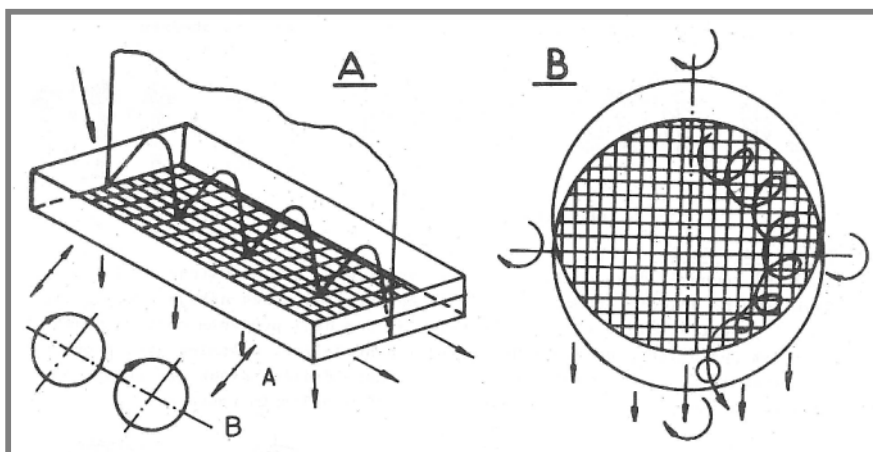
Využívá se pro hrubé nebo střední třídění. Tříděný materiál se převaluje v nakloněném síťovém bubnu, který rotuje konstantní úhlovou rychlostí. Velikost přetříděného materiálu je dána velikostí otvorů v síti bubnu.

Třídění vrhem (obr. 1-3A)

Tento systém je nejvíce využíván pro jemné i hrubé třídění. Třídění se děje pomocí harmonických kmitů v kolmé rovině k síťové ploše. Materiál je tak vržen v kolmé rovině a vlivem těchto poskoků se přesouvá přes síťovou plochu.

Třídění plošným pohybem (obr. 1-3B)

Využívá se v oblasti jemného a velmi jemného třídění. Třídění se děje pomocí harmonických kmitů v rovině síťové plochy. Jednotlivá zrna materiálu opíší cykloidní dráhu. Těchto třídících cyklů je několikanásobně více než při třídění vrhem.

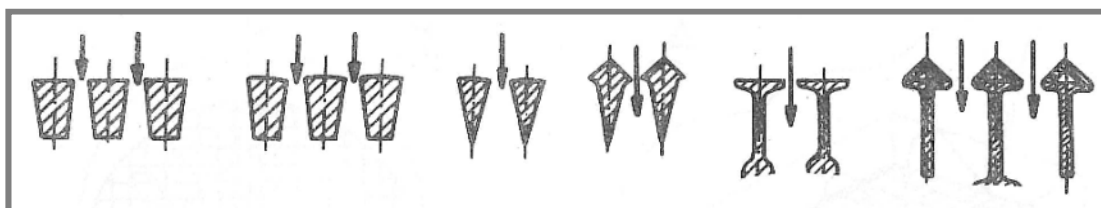


Obr. 1-3 Třídění vrhem roštem a plošným pohybem [1]

1.4 Třídící plochy mechanických třídičů

1.4.1 Roštnice

Roštnice slouží pro přípravné třídění např. před hlavním tříděním nebo drcením, a zajišťují prvotní vytrídění objemného materiálu o nežádoucích rozměrech, který by neprošel třídičem nebo by zahltit vstup do drtiče. Roštnicová plocha zpravidla nekoná žádný pohyb a v některých aplikacích bývá upevněna na dvou závěsech a při zaplnění je zvedána pomocí pístnic, aby se z nich nežádoucí materiál odstranil. Roštnice se vyrábějí z různých profilů. Použití jednotlivých profilů závisí na tříděném materiálu.

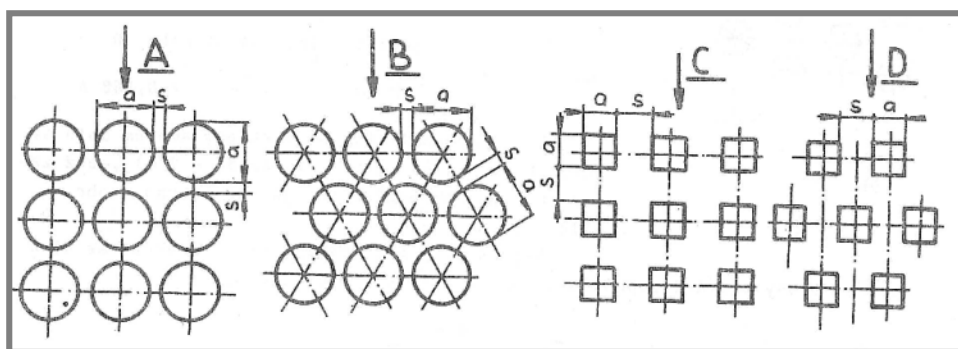


Obr. 1-4 Tvary roštnic [1]

1.4.2 Ocelová síta

Plechová síta

Plechová síta se vyrábějí z ocelových plechů s vypalovanými, prostřihovanými nebo vrtanými otvory ve tvaru kruhu (obr. 1-5A,B), čtverce (obr. 1-5C,D) či šestihranu. Jejich velikost se pohybuje od 6 do 125mm [1]. Na ploše jsou pak uspořádány v čtvercové (rovnoběžné) nebo šachovité mřížce. Šachovité uspořádání otvorů má na rozdíl od čtvercového větší volnou propadovou plochu a to až o 20% [1] a také se zabráni proklouzávání materiálu mezi otvory. Síta vyráběná stříháním mají kuželovité otvory (6° - 7°) [1], které zabráňují váznutí materiálu. U vrtaných sít se kuželovitosti docílí obráběním.

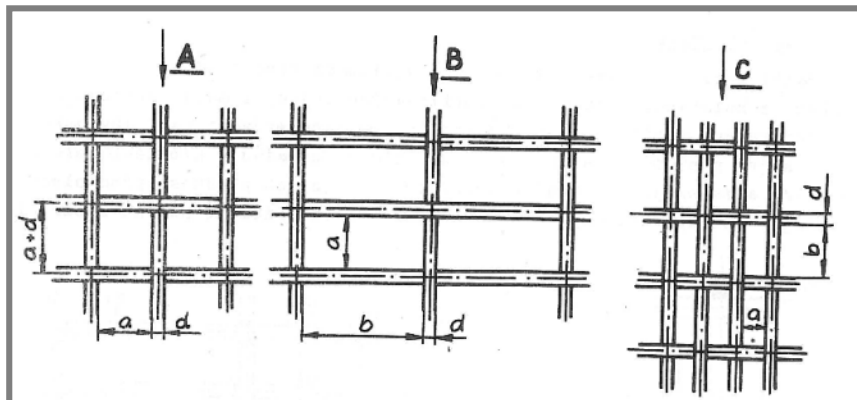


Obr. 1-5 Tvary otvorů [1]

Drátěná síta

Drátěná síta jsou vyrobena z ocelových drátů nebo z umělých vláken. Velikost otvorů v síti se pohybuje od 0,1 – 100 mm [1]. Tvar otvorů bývá čtvercový (obr. 1-6A) či obdélníkový (obr. 1-6B,C) a závisí na vlastnostech tříděného materiálu. Čtvercové otvory se vyznačují lepší přesností třídění, ale na rozdíl od obdélníkových menší propadovou plochou. Na rozdíl od plechových sít mají drátěná více členitý

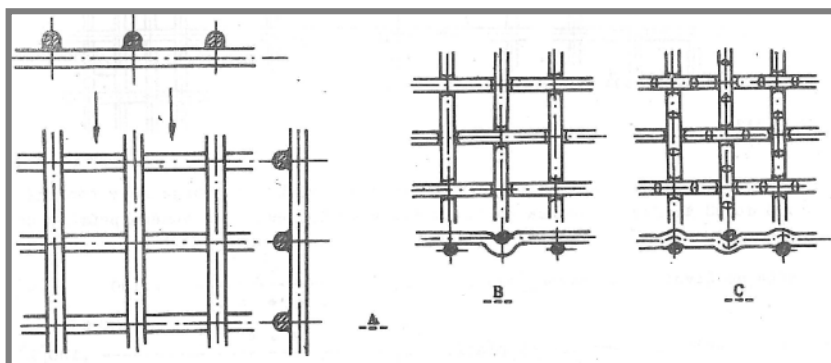
povrch, což má za následek větší tření a opotřebení, proto je nutné zvýšit sklon třídiče. Mají však až o 83% větší propadovou plochu než plechové, to je dáno poměrem průměru drátu a velikosti otvoru [1].
U těchto sít může docházet k posuvu drátů výpletu a tím k nepřesnostem v třídění.



Obr. 1-6 Drátěná síta [1]

Svařovaná síta

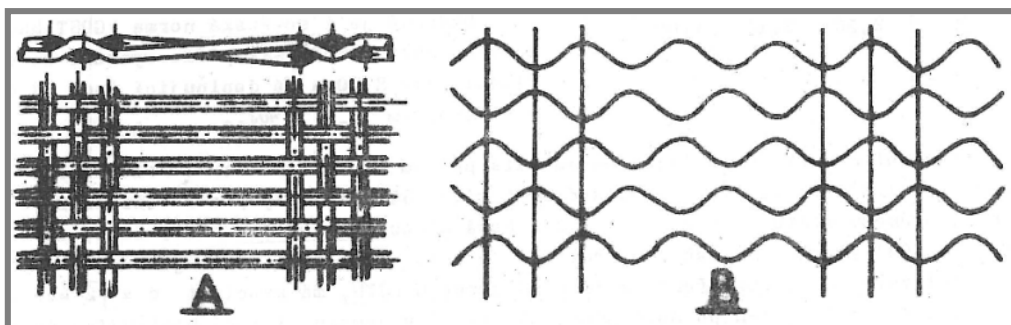
Svařovaná síta jsou vyrobena (svařena) z drátů z manganové oceli. Velikosti otvorů se pohybují od 25mm-100mm [1]. Aby bylo zajištěno správné třídění a nedocházelo k nadměrnému opotřebení, musí být horní řada drátů umístěna po směru toku materiálu. Tím se lépe odvádí nadsítné frakce, které poté nezanášají otvory v síti.



Obr. 1-7 Drátěná síta [1]

Harfová síta

Jsou vyrobena z ocelových drátů, které jsou uspořádány do dlouhých obdélníkových otvorů tak, že jejich délka 4x přesahuje šířku [1]. To způsobuje příčné chvění drátů a napomáhá zabraňovat ucpávání síta materiálem. Používají se zejména pro vibrační třídění vlhkého materiálu.



Obr. 1-8 Drátěná síta [1]

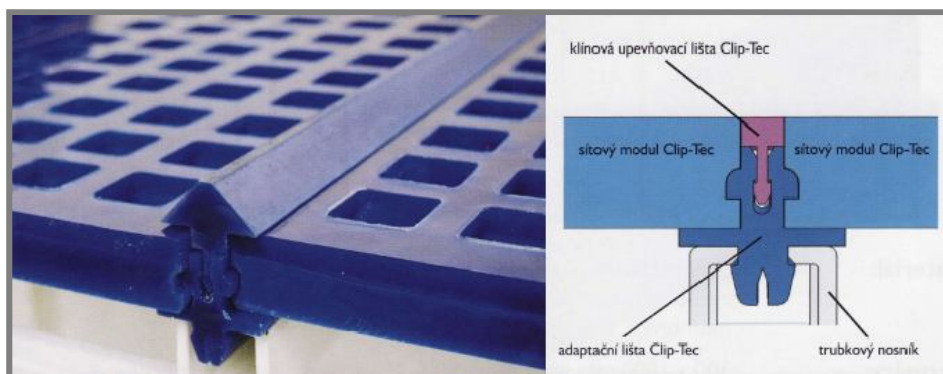
1.4.3 Nekovová síta

Plastová síta

Plastová síta se vyrábějí z polyuretanového elastomeru, který se vyznačuje nižším třením materiálu o povrch síta a má větší odolnost proti otěru než ocelový drát používaný v kovových sítích. Používají se zejména na mokré třídění nebo odvodňování. Zpravidla se vyrábějí jako moduly nebo síťové dílce, které se usazují na třídící plochy. Velikost otvorů je 2 – 130mm a tloušťka síta je 20-60mm. Jejich nevýhodou je menší propadová plocha a výrazně vyšší cena než u ocelových sítí.

Polyuretanový modulový systém Clip-Tec a Clip-Clean

Tato technologie využívá stavebnicový systém modulů s kónickými oky, které mají standardní rozměr 300x1000mm. Tyto moduly se upevňují na adaptační lišty, které jsou upevněny na rozpěrách třídiče.



Obr. 1-9 Clip-Tec [3]

Systém Clip-Clean má membránovou síťovou plochu, která při třídění vibruje a tím se zamezuje zanášení otvorů. Může být vybavena i oklepávacími polyuretanovými koulemi, které znásobují samočisticí schopnost membrány.



Obr. 1-10 Clip-Clean [3]

Pryžová síta

Pryžová síta se vyrábějí z vulkanické pryže. Jedná se o modulový systém vyvinutý pro československý kamenoprůmysl. Jednotlivé moduly mají velikost 500x500mm. Používají se pro mokré třídění a je možno je použít v rozmezí teplot od -40 do 100°C [2]. Vyznačují se podobnými mechanickými vlastnostmi jako polyuretanová síta.

1.5 Základní prvky konstrukce semimobilního třídiče

1.5

Konstrukce se zpravidla skládá z rámu, třídiče, skluzů, pracovní plošiny, a v některých aplikacích se využívá i horní kryt třídiče. Ten slouží pro zatěsnění skříně třídiče u procesu suchého třídění, aby se omezila prašnost stroje.

1.5.1 Geometrie konstrukce

1.5.1

Jedním z určujících a také hlavních faktorů je výška stroje respektive výška potřebná k zavážení násypky třídiče pomocí pásového dopravníku. Výška násypky proto určuje délku dopravníku. Dopravník by měl zpravidla svírat se základnou 20°, proto je jeho přibližná délka rovna podílu výšky násypky a $\sin 20^\circ$. Další z určujících faktorů jsou výšky skluzů, pod kterými jsou umístěny pásové dopravníky. Výška těchto skluzů je dána délkou a šířkou skříně třídiče. Skluz by neměl mít menší sklon než 45°, aby nedocházelo k ulpívání materiálu na jeho stěnách.

1.5.2 Rám

1.5.2

Konstrukce rámu se řídí velikostí třídiče. Existuje nepřeberné množství konstrukčních variant, avšak všechny vycházejí ze dvou základních uspořádání nosných profilů.

První variantou konstrukce je rám se šesti podpěrami, který zajišťuje stabilitu v podélném směru. Zejména menší stroje s délkou třídiče do 3m mají těžiště velice blízko prostřední noze, proto u nich při absenci přední podpěry hrozí nestabilita a snaha naklánět se v podélném směru dopředu. Tyto rámy využívá zejména Jihlavská firma Kool Trading.



Obr. 1-11 Semimobilní třídič firmy KOOL Trading [4]

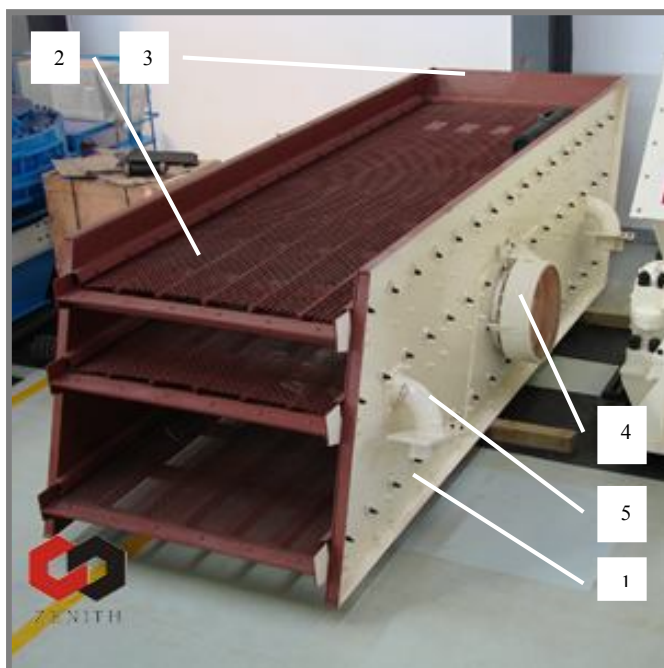
Druhou variantou je konstrukce rámu pouze se čtyřmi podpěrami. To má za následek nestabilitu u menších strojů, avšak její nespornou výhodou je více prostoru pro dopravníky pod předními skluzy. Z toho vyplývá možnost lepšího uspořádání úkladišť přetříděného materiálu a tím i minimalizovat rozlohu linky. Tuto konstrukci využívá např. firma DSP Přerov.



Obr. 1-12 Semimobilní třídíč firmy DSP Přerov [5]

1.5.3 Třídíč

Třídíč se skládá ze skříně třídíče (obr. 1-13, 1), roštů (obr. 1-13, 2), násypky (obr. 1-13, 3), budiče vibrací (obr. 1-13, 4) a konzol pro pružiny (obr. 1-13, 5). Všechny jmenované části jsou mezi sebou spojeny pomocí šroubů, proto se celá sestava dá jednoduše rozebrat na jednotlivé části (např. při repasi).



Obr. 1-13 Třídíč firmy Zenith (Čína) [6]

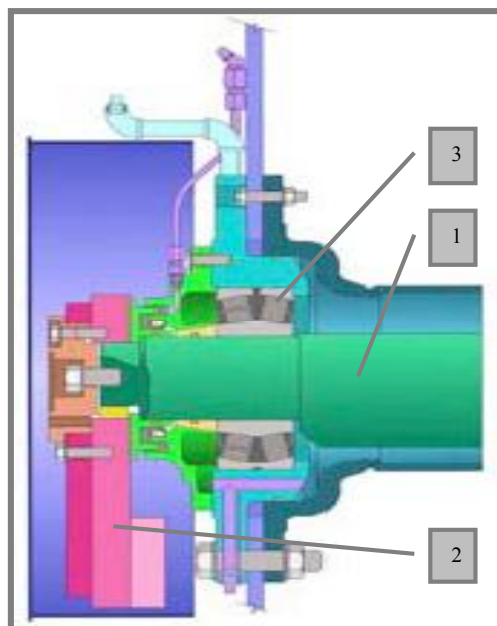
Skříň třídiče se skládá ze dvou zrcadlově identických bočnic. U třídičů pro mokré třídění jsou pak v bočnicích otvory pro zavádění potrubí pro zkrápění. Tvary bočnic se u jednotlivých využívaných variant příliš neliší, zpravidla se využívají rovné stěny, které navazují na skluz pod třídičem. V případech, kdy je zapotřebí nižší výška konstrukce semimobilního třídiče je skluz nahrazen pásovým dopravníkem a spodní část stěny třídiče je zkosená směrem dovnitř. To sebou nese značnou úsporu materiálu a menší výšku stroje, ale hrozí zde nebezpečí ulpívání tříděného materiálu na zkosené stěně a následné zahlcení třídiče, které je způsobeno nedostatečným odvodem přetříděného materiálu. V důsledku špatného přístupu mezi pás a třídič se tyto následky též velice špatně odstraňují. Pokud je šířka třídiče nad 1500mm, byl by ohyb ve spodní části příliš velký, proto se používá jen část skluzu, která svede materiál na dopravník.



Obr. 1-14 Třídič firmy Tema machineri [7]

Budič vibrací je označení pro sestavu excentrické hřídele (obr. 1-15, 1) a nevývažků (obr. 1-15, 2). Velikost hřídele, jeho excentricita a velikost nevývažků se dimenzuje podle velikosti třídiče a počtu třídících ploch. Pro tyto aplikace se používají dvouřadá soudečková ložiska (obr. 1-15, 3), která jsou mazána externě pomocí mazničky a kanálků vedoucích mazivo k ložisku.

Hřídele se vyskytují ve dvou variantách. První z nich je soustružená hřídel, která je jednodušší na výrobu, ale je náročnější na zástavbové rozměry. Druhou variantou je kovaná hřídel, která je sice technologicky náročnější, ale zástavbové rozměry jsou menší než u soustružené. Další výhodou kované hřídele je to, že s menší a lehčí hřídelí dosáhneme stejnou budící sílu jako u soustružené hřídele. To je způsobeno omezením tzv. mrtvé hmotnosti, která se nachází na protější straně excentru. Tato hmotnost je nežádoucí, protože snižuje velikost budící síly vyvozené excentricitou. Odstranění nepotřebného materiálu obráběním je obtížné a narušuje pevnost a tuhost hřídele, proto je výhodnější přesunout tento materiál vykováním.

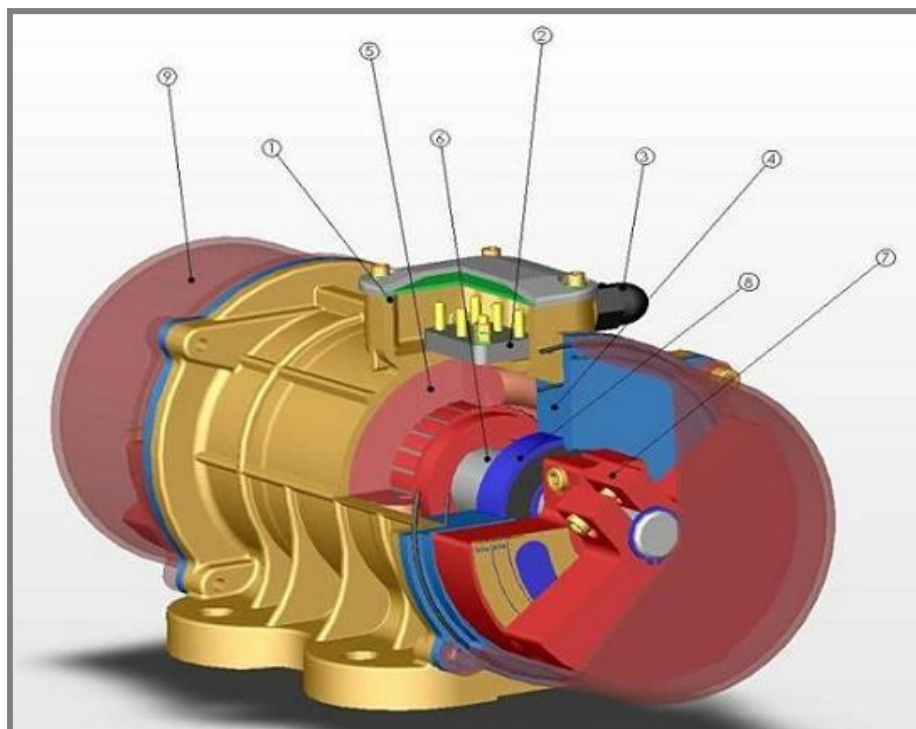


Obr. 1-15 Budič vibrační firmy Metso [8]

Skříňové třídící lze z hlediska umístění budiče rozdělit na dvě základní varianty, tj. umístění budiče v těžišti třídící a umístění mimo něj.

Varianta, kdy je budič umístěn v těžišti třídící, se využívá zejména u větších a výkonnějších třídících. V tomto případě se k buzení využívá excentrická hřídel uložená v ložiscích.

Varianta, kdy budič není umístěn v těžišti třídící ale nad ním, se využívá zejména u menších třídících. Jedná se zpravidla o jedno nebo dvousítné provedení s délkou třídící plochy do 4m. Toto umožňuje minimalizovat mezeru mezi jednotlivými sítý a tím snížit výšku třídící a uspořádat tak výšku stroje a materiál potřebný na výrobu. U této varianty se také objevuje zcela jiný přístup pro vybuzení potřebného kmitu, konstrukční řešení jsou zde dvě. První konstrukční řešení používá excentrickou hřídel uloženou v ložiscích jako u první varianty. Zpravidla ještě bývají na konci hřídele umístěny nevyvážky pro znásobení budicího efektu. Pro tohle uspořádání je zapotřebí zajistit externí pohon, tím může být elektromotor nebo hydromotor, to závisí na použité technologii na ostatních částech stroje. Druhým konstrukčním řešením je využití vibračních jednotek (obr. 1-16). Jedná se o kompaktní řešení, které se skládá z elektromotoru ve střední části zařízení a nevyvážek na koncích rotoru. Nevyvážky jsou rozděleny na dvě části, které lze nastavit vzájemným natočením a tím řídit velikost budicí síly [10].



Obr. 1-16 Vibrační jednotka [9]

Tyto jednotky se využívají pouze pro ty nejmenší dvousítné třídiče o délce do 3m. Při posunutí budiče z těžiště třídiče se výrazně mění charakteristika buzení a výkonnost třídiče klesá, proto se tento systém využívá zejména u kontejnerových třídičů nebo tam kde jsou zapotřebí menší zástavbové rozměry třídiče.

Násypka slouží jako dopadová plocha pro dodávaný materiál. Pokud by materiál dopadával přímo na plochu síť, brzy by došlo k jejich nadměrnému opotřebení a nedocházelo by k třídění ale jen k propadu materiálu skrze porušené síto. V důsledku abraze musí být i násypka resp. její dopadová plocha pokryta otěruvzdorným materiálem. Pro tuto aplikaci se využívají buďto plastové nebo ocelové otěruvzdorné materiály.

1.5.4 Skluzy

1.5.4

Skluzy slouží k odvodu přetříděného materiálu z jednotlivých síťových ploch třídiče do pásových dopravníků nebo přímo na úložiště. Jejich konstrukce se liší podle zástavby stroje v lince. Konstrukce jednotlivých dílů se liší podle umístění na stroji. Zpravidla se skluzy dělí na skluzy výstupních frakcí a skluz podsítný. Podsítný skluz je umístěn pod třídičem a vstupují do něj ty nejjemnější podíly tříděného materiálu. Jeho konstrukce se liší podle toho, jedná-li se o třídění mokré či suché. Při suchém procesu třídění nesmí úhel stěny být menší než 42° , aby nedocházelo k ulpívání materiálu, tato hodnota však záleží na druhu materiálu a jeho vlhkosti. Při zkrápěném třídění se tento úhel pohybuje od 30° - 45° . Třídění s vodou má také za následek nadměrné opotřebovávání skluzu, a proto je nutné stěny skluzu

pokryt materiálem, který dobře odolává abrazi. V současné době se na tyto aplikace používá speciální směs pryže, která se lepí pomocí vulkanického lepidla. Skluzy výstupních frakcí se řídí podobnými pravidly jako skluzy podsítné a to s tím rozdílem, že se musejí pokrývat materiálem, který odolává rychlému opotřebení i při suchém třídění. To je dáno větším množstvím odváděného materiálu a tím i výraznějším opotřebením.

2 FORMULACE PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

2

2.1. Formulace řešeného problému

2.1

V zemích východní Evropy a Asie se teprve dnes začínají zakládat recyklační a těžební závody. To je způsobeno přílivem finančních prostředků do těchto zemí a potřebou budovat novou infrastrukturu, aby tak vzniklo zázemí příchozím zahraničním firmám.

Firma RESTA se v minulosti zaměřovala zejména na mobilní stroje, ale s otevřením nových trhů vznikla poptávka po stabilních a semimobilních strojích, se kterými by bylo možno sestavit celý těžební či recyklační závod.

Řešený problém proto spočívá ve vytvoření konstrukčního návrhu semimobilní třídící jednotky se kterou by firma mohla rozšířit své portfolio a expandovat na východní trhy.

Stroje by byly určeny pro linky umístěné v pískovnách, recyklačních závodech a lomech.

2.2. Požadavky výrobce

2.2

Firma ve svém finálním zadání specifikovala své požadavky na parametry konstrukce, výsledný třídící výkon, odhad předpokládaných výrobních nákladů, termín vydání výkresové dokumentace do výroby a termín expedice.

Požadavky výrobce:

- Činná šířka třídíče: 1600mm
- Činná délka třídíče: 4000mm
- Počet třídících ploch: 2
- Výsledný výkon: 40-200 tun / hod
- Vodní skrápění síťových ploch
- Pohon: elektromotor
- Šířka schodiště a plošiny pro obsluhu: 600mm
- Jednotlivé části třídící jednotky musí být rozebíratelné pro přepravu
- Veškeré rozebíratelné části nesmí přesáhnout transportní šířku 2,5m
- Hřídel třídíče a jeho uložení budou převzaty a modifikovány již z vyrobeného a odzkoušeného stroje.
- Provozní teplota prostředí (0 až 40) °C.
- Hmotnost stroje do 1 tun.

2.3. Technická analýza problému

2.3

Protože se stroj této velikosti na firmě ještě nikdy nevyráběl, bylo nutné promyslet různé technologické možnosti výroby a jejich ekonomické aspekty. Jednotlivé díly sestav jsou převážně složeny z plechových dílů, které mají velké množství otvorů, proto je ekonomicky výhodnější většinu otvorů a děr vypálit na plazmovém CNC řezacím stroji. Výroba těchto děr klasickým vrtáním by byla neekonomická a vzrůstal by i čas k výrobě jednotlivých dílů, čímž by se prodražovala i výroba stroje. Vrtány proto budou jen obráběné díry nebo díry, u kterých musí být zaručena maximální přesnost jednotlivých spojů. Dalším potenciálním problémem by se mohly stát ty plechové díly, ve kterých budou vypáleny díry pro šrouby a v dalším kroku se pak budou ohýbat na ohraňovacím lisu. Proto se při návrhu takového dílu

musela zvolit vhodná tolerance klíčových rozměrů a dbát na přesnost výroby. Také bylo nutné vyřešit polotovary pro uložení ložisek hřídele třídiče. Na výběr bylo ze dvou variant buďto zvolit odlitek, který by se musel nechat vyrobít externě, nebo polotovary vypálit ze silnostěnného plechu. Po porovnání cenových návrhů, byl zvolen výpalek, který se následně obrobí na CNC soustruhu.

2.4. Vývojová analýza

V prvním kroku bude vytvořen koncepční model ze zdrojového modelu třídiče, který bude splňovat zadané rozměrové předpoklady třídiče. Následně bude vytvořen koncepční model rámu splňující zástavbové rozměry třídiče. Dalším krokem bude navrhnout jednotlivé skluzy, pracovní plošinu pro obsluhu a potřebné bezpečnostní prvky jako jsou např. zábradlí, okopy a schodnice. Po dokončení těchto operací bude zkontrolována návaznost všech vytvořených dílů, tak aby z nich bylo možno vytvořit výrobitelný prototyp. Následně bude proveden pevnostní a deformační výpočet, klíčových prvků konstrukce pomocí metody konečných prvků. V konečném kroku pak bude vytvořena výkresová dokumentace a vizualizace sestav.

3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

3

Primárním cílem diplomové práce je vytvořit konstrukční návrh semimobilního třídiče na štěrkopísek. Návrh zařízení musí respektovat požadavky výrobce a zohlednit technologické možnosti výroby zařízení ve firmě zadavatele.

Dílčí cíle diplomové práce:

- vytvoření 3D model semimobilního třídiče v modeláři SolidWorks
- návržení třídiče
- návržení budící jednotky
- návržení konstrukce rámu
- návržení skluzů
- návržení pracovní plošiny
- provedení kontrolních výpočtů vybraných funkčních dílů
- kontrola kolizí mezi pohyblivými díly sestavy
- vytvoření výkresové dokumentace pro výrobu prototypu stroje
- ověřovací měření správné funkce stroje

4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

Výchozí koncepční návrh bude vycházet z požadavků od výrobce a jeho dlouholetých zkušeností v dané problematice. Protože se stroj tohoto typu ve firmě nevyráběl, bude nutné se rozhodnout pro nejlepší variantu běžně používaných konstrukcí semimobilních třidičů.

Postup řešení diplomové práce bude následující:

- a) Shromáždit a prostudovat současné konstrukce semimobilních a stabilních třidičů
- b) Nastudovat současné konstrukce třidičů a technologické postupy, které firma Resta používá
- c) Vytvořit model třidiče, jehož konstrukce vychází z již vyráběných třidičů včetně budiče vibrací
- d) Upravit velikost a excentricitu hřídele budiče vibrací a nevývažků v závislosti na výpočtech provedených pomocí firemního softwaru
- e) Navrhnout pružiny pro uložení třidiče
- f) Vytvořit model rámu
- g) Nastudovat normu pro konstrukce pracovních plošin
- h) Navrhnu model pracovní plošiny
- i) Vytvořit modely jednotlivých skluzů
- j) Zkontrolovat a upravit návaznost jednotlivých dílů a sestav
- k) Vytvořit přípravu pro rozvody vody a elektrické rozvody
- l) Vytvořit výkresovou dokumentaci

5 NÁVRH ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

5

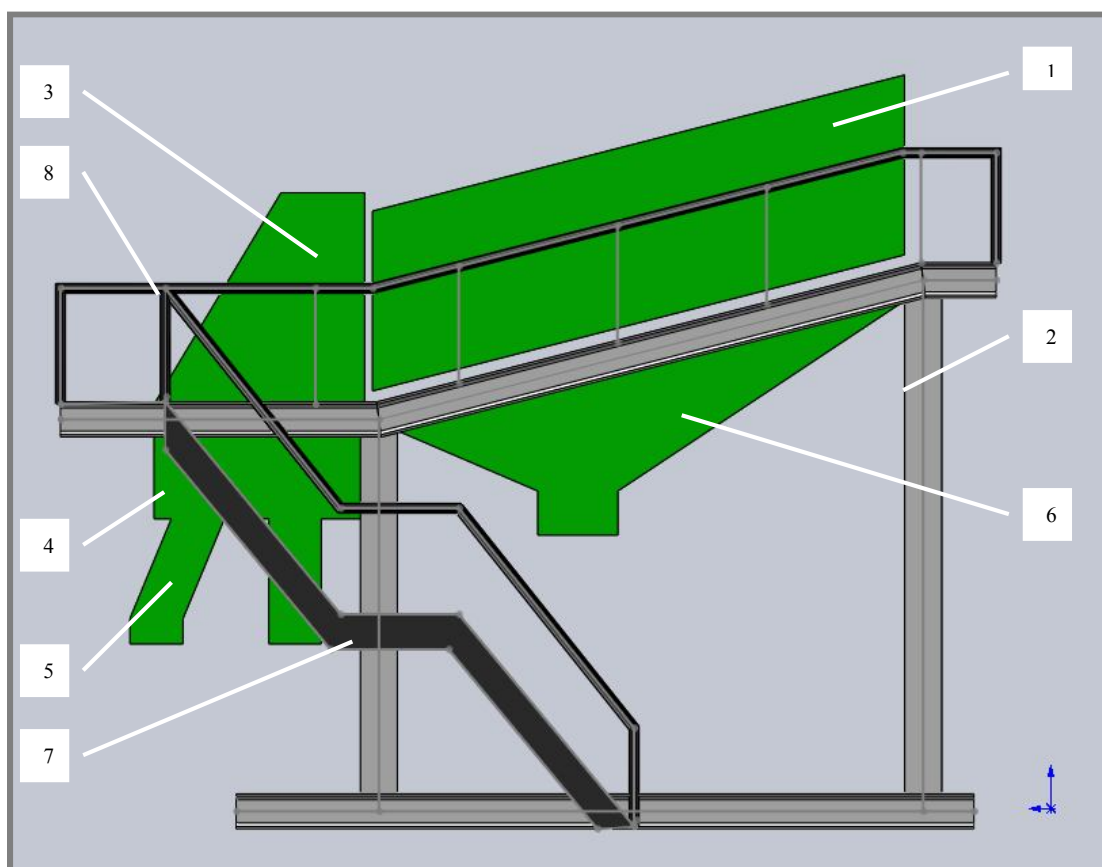
Jak již bylo zmíněno dříve, hlavní prvky konstrukce semimobilního třídiče, jako jsou budič vibrací nebo skříň třídiče, budou vycházet z již vyrobených a odzkoušených strojů. Tyto díly prošly několikaletým vývojem a byly k nim v minulosti vytvořeny firemní výpočtové programy, které zahrnují jak matematické modely soustav, tak zkušenosti z provozu.

Další díly jako jsou skluzy, rám a pracovní plošina budou vytvořeny na základě studií již vyrobených a funkčních strojů s ohledem na jejich snadnou montáž a transport.

5.1 Koncept semimobilního třídiče

5.1

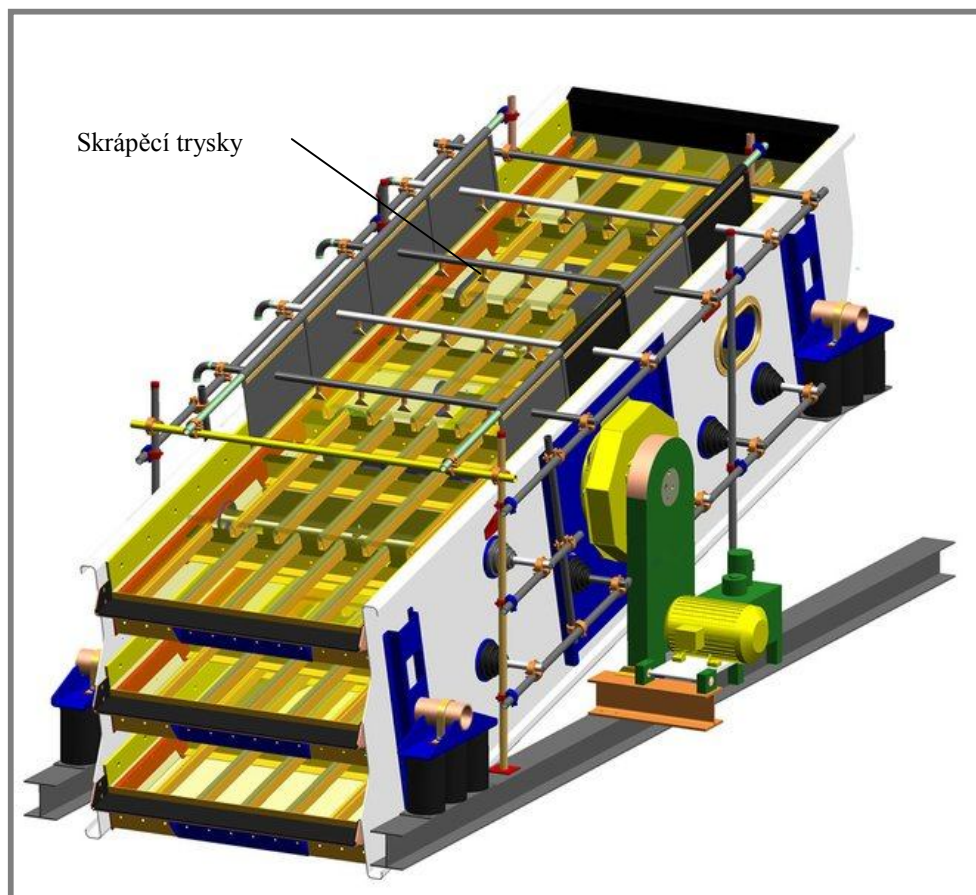
Pro celkovou představu, jak bude stroj vypadat a jak budou na sebe jednotlivé díly navazovat, byl vytvořen koncepční návrh třídiče (obr 5-1). Pozice 1 na obr. 5-1 reprezentuje skříň třídiče, která je umístěna na rámu (poz.2). Posuvný skluz (poz.3) bude usazen na kolejnicích přivařených na rámu, po kterých se bude tento skluz posouvat. Na posuvný skluz pak bude navazovat spodní pevný skluz (poz.4), na kterém budou pomocí příruby připevněny otočné skluzy (poz.5). Podsítný skluz (poz.6) pak bude umístěn pod třídičem v prostoru rámu. Schody budou umístěny podél rámu, aby jejich konstrukce neomezovala pohyb obsluhy kolem stroje.



Obr. 5-1 Koncept semimobilního třídiče

5.2 Třídící jednotka

Skříň třídíče, stejně jako budič vibrací je odvozen z podobného třídíče, který se používá na mobilním třídíči. Rozměry třídíče však musí být větší, aby jej bylo možno osadit rozměrnější sítovou plochou, která bude zajišťovat dostatečný výkon třídíče. Stejně tak bude upravena i jeho výška, protože na rozdíl od předchozích třídíčů bude tento osazen skrápěcími tryskami, které budou vyplavovat jílovité složky z tříděného materiálu. Tyto trysky mají stanovené rozmezí vzdálenosti, ve kterém musejí být umístěny nad sítovou plochou.



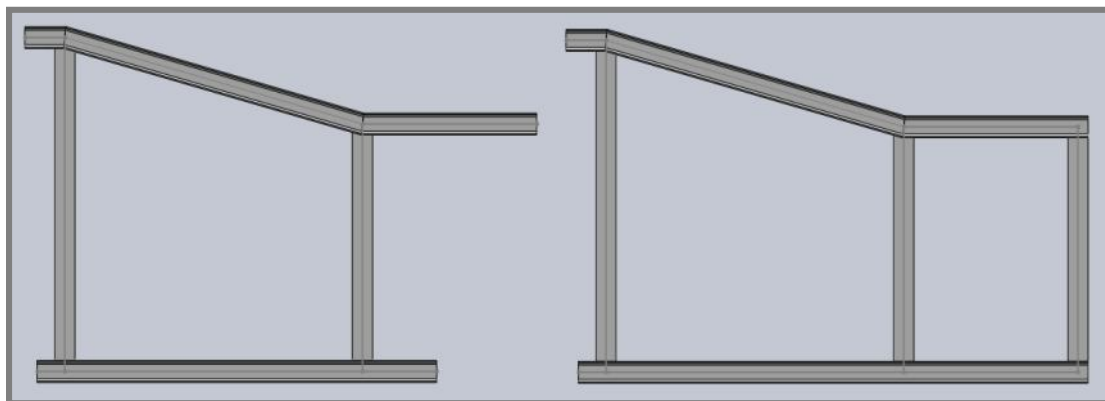
Obr. 5-2 Třídíč se skrápěním firmy Haver & Boecker [11]

Na budiči vibrací se nebudou provádět žádné konstrukční změny. Bude se měnit jen jeho geometrie, tak aby vybuzená síla byla dostatečně velká a třídíč dosahoval správné provozní amplitudy.

5.3 Rám

Při vytváření prvotních návrhů rámu se vycházelo ze dvou dnes nejvíce využívaných variant. První konstrukce rámu je se čtyřmi nosnými podpěrami (obr. 2-12), která se vyznačuje menší podélnou stabilitou, ale umožňuje větší prostor pro usazování pásových dopravníků pod přední skluzy. Druhou z variant je rám s šesti podpěrami (obr. 2-11), který má velice dobrou stabilitu, ale přední vzpěry zásadně omezují rozmístění a výsledný směr dopravníků.

V prvním kroku je zvolena první varianta rámu, aby se dosáhlo maximální variability stroje. Dalším významným krokem je navržení profilů nosné konstrukce. Klasické řešení využívání trubkové konstrukce nebo konstrukce tvořené I a U profily nebo novější konstrukce HEA či HEB profily. Pro tento konstrukční návrh je zvolen profil HEB. Tento profil má v porovnání s jinými profily největší modul průřezu v ohybu a největší vzpěrnou stabilitu.



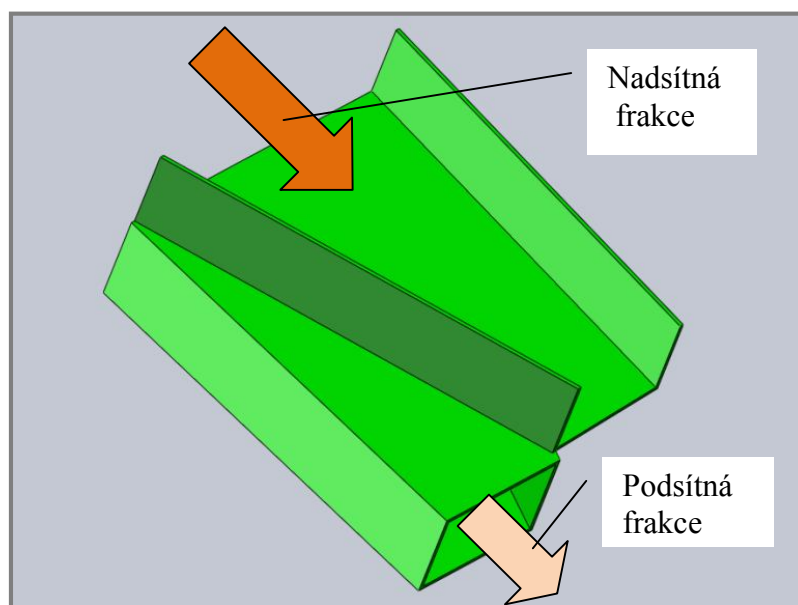
Obr. 5-3 Koncept rámu

5.4 Skluzy

5.4

Návrhy skluzů zprvu vycházely z některých již vyrobených strojů. Tyto konstrukce však neodpovídaly požadavkům a potřebám tohoto zařízení proto se musely tyto skluzy vytvořit zcela nové.

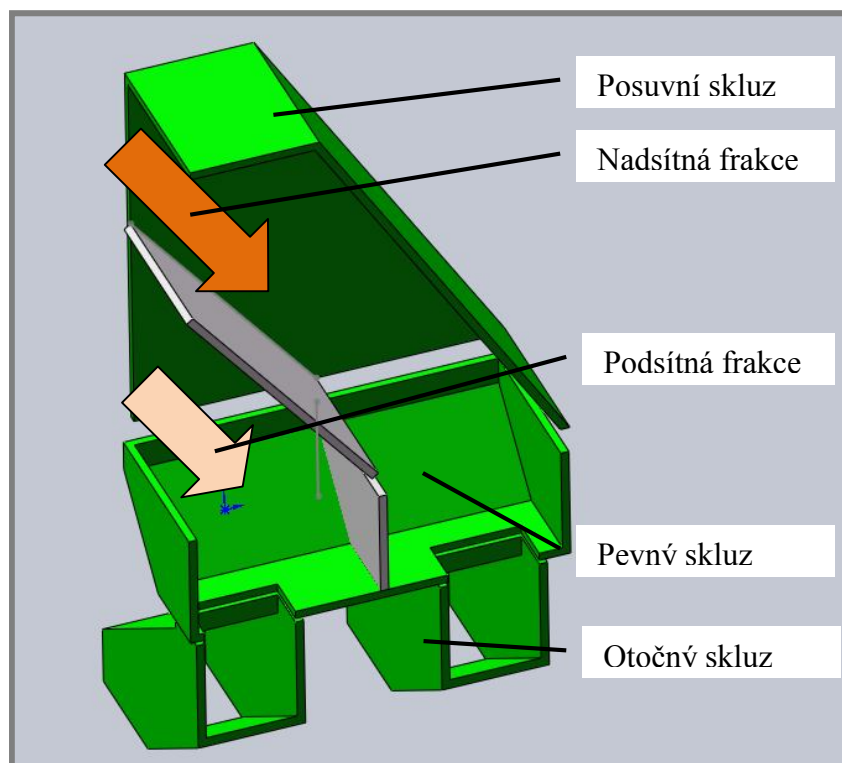
Výstup z třídiče resp. nadsítný a mezisítný sluz měly být vyrobeny jako dva oddělené otevřené skluzy. Tato konstrukce by však znemožňovala snadný přístup na skluz mezisítné frakce a to by komplikovalo jeho čištění a opravy. Také by hrozilo vypadávání materiálu přes neuzavřený horní skluz. Proto se použije uzavřený posuvný skluz, který je sice náročnější na výrobu, ale je samonosný a lépe navazuje na další skluzy.



Obr. 5-4 Pevné skluzy

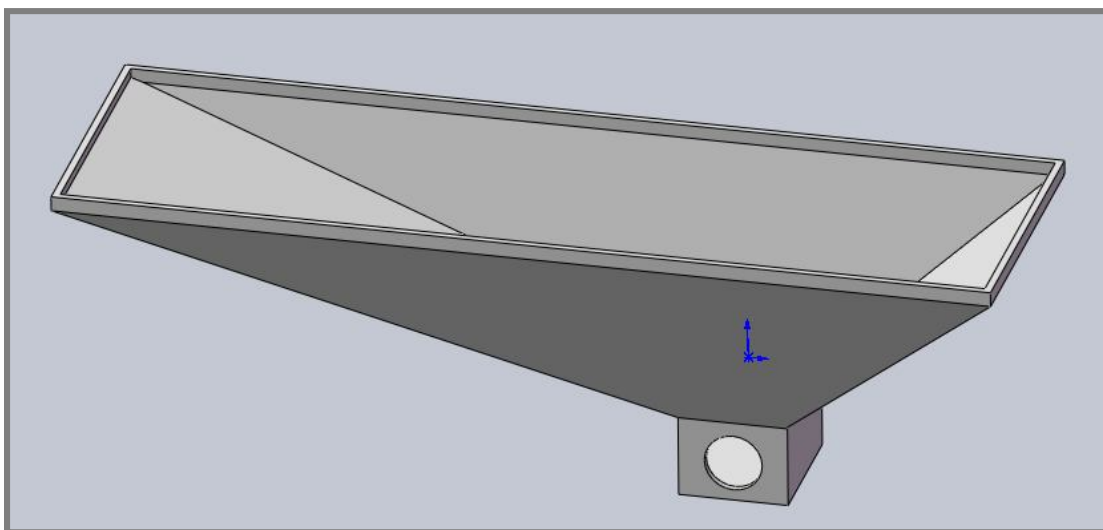
Pokud je použit posuvný skluz další navazující skluz se odvíjí od jeho geometrie. Většinou se jedná o pevný skluz upevněný k rámu, na který navazují otočné skluzy, které odklání tok materiálů podle umístění pasových dopravníků. Stejný princip konstrukce bude použit i u tohoto stroje.

Při suchém třídění by se skluzy z vnitřní strany tzv. „opancěřovaly“ tzn., že by se na stěny skluzu připevnila pláty otěru vzdorného plechu. Protože jde ale o mokrý proces třídění, všechny použité díly by značně podléhaly korozi. Proto budou všechny skluzy z nitřní strany potaženy vrstvou gumy.



Obr. 5-5 Posuvný skluz

Největší podsítný skluz bude navržen jako svarek, protože tímto skluzem bude odcházet většina vody použitá na zkrápění sít. Proto tento skluz musí obsahovat, co nejméně spojů, kterými by mohla voda unikat. V horní části bude skluz uchycen k rámu. Stejně jako předcházející skluzy i tento bude z vnitřní strany pogumován.



Obr. 5-6 Podsítný skluz

5.5 Pracovní plošina

Konstrukce pracovní plošiny pro obsluhu stroje bude vytvořena podle příslušné normy ČSN. Samotné konstrukční provedení se bude řídit geometrií rámu a navazujících dílů. Pro snadný přístup k třídíči a jednoduchou manipulaci při výměně sít na síťových plochách, bude třídíč vybaven schodištěm a pracovní plošina bude kolem celého třídíče.

5.5

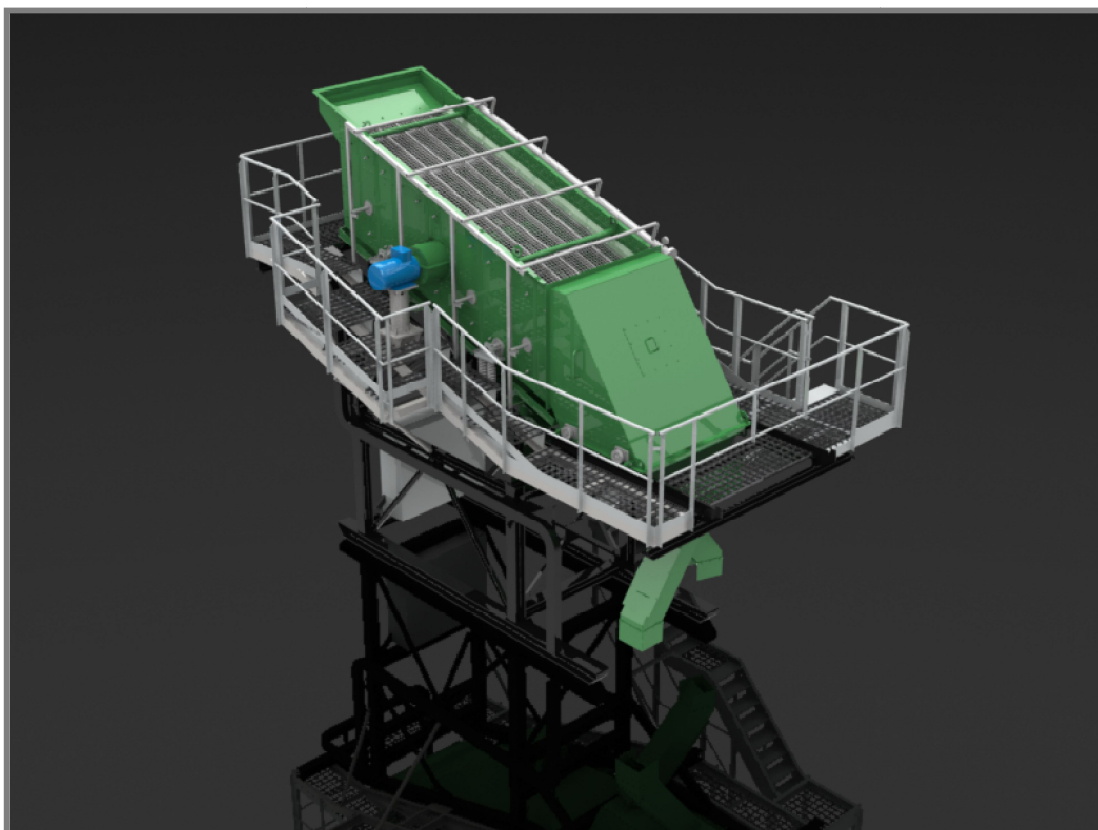
6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ SEMIMOBILNÍ TŘÍDICÍ JEDNOTKY

Zařízení je součástí linky, která byla dodána na jih Ruska a měla na přání zákazníka svá specifika, kterými se tento stroj neřadí ke strojům na mokré ani na suché třídění. Jedná se o kombinaci výrazně levnější varianty třídíče na suché třídění a technologie na mokré třídění, čímž vznikl jakýsi přechodový typ.

Při konstrukci třídíče jsou použita ocelová síta, která jsou zkrápěna vodou. Při použití této filozofie je hlavní výhodou pořizovací cena, která je o $\frac{1}{4}$ nižší než u plastových sít, a také větší množství přetříděného materiálu, které činí několik tun za směnu. Bezsporně hlavní nevýhodou je životnost ocelových sít. Ta byla stanovena na 2-3 týdny nepřetržitého provozu.

Navržená jednotka nese označení 16x40_18_2, kdy 16 znamená šířku síťové plochy (1600mm), 40 délku (4000mm), 18 značí úhel náklonu síťových ploch od půdorysné plochy (18°) a číslice 2 pak označuje počet síťových ploch.

Celá konstrukce včetně výkresové dokumentace je vytvořena v programu SolidWorks 2009, posléze SolidWorks 2010. Orientační pevnostní výpočty jsou provedeny v programu Simulation (Cosmos). Další speciální výpočty se provádí pomocí interních firemních programů.



Obr. 6 Semimobilní třídič

6.1 Třídící jednotka

Pro konstrukci třídíče jsou použity poznatky z již vyráběných strojů, které se osvědčily svojí funkčností a spolehlivostí.

Třídíč, je navržen tak, že je zkompletován pomocí šroubových spojů. Jednotlivé dílce (sekce) třídíče jsou smontovatelné a celý třídíč je tudíž rozebíratelný. Toho je možné využít při poruše, kdy dojde k poškození jedné sekce, nebo při generálních opravách.

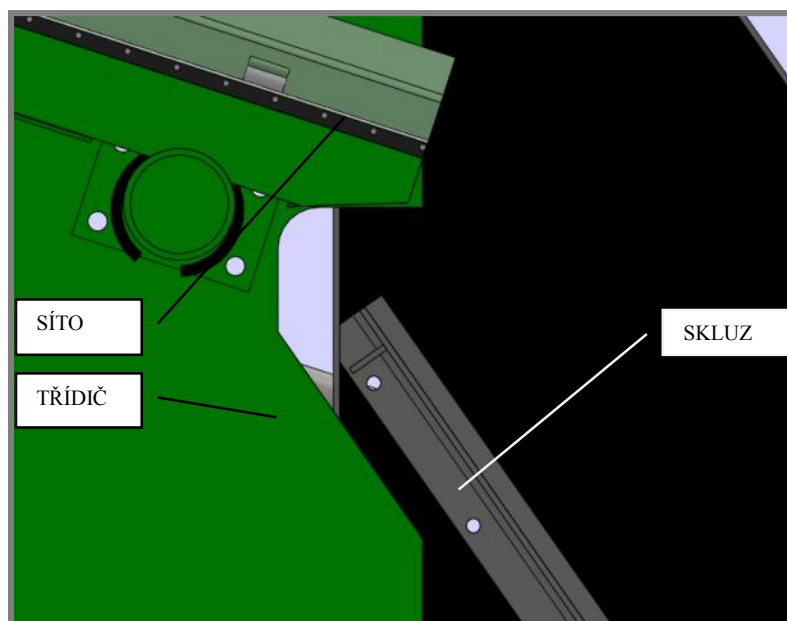


Obr. 6-1 Třídíč 16x40

Konstrukce třídíče se skládá ze skříně třídíče (obr. 6-1,1), násypky třídíče (obr. 6-1,2), z roštů (sítových ploch) (obr. 6-1,6), z budiče vibrací (obr. 6-1,4) a konzol pružin (obr. 6-1,5).

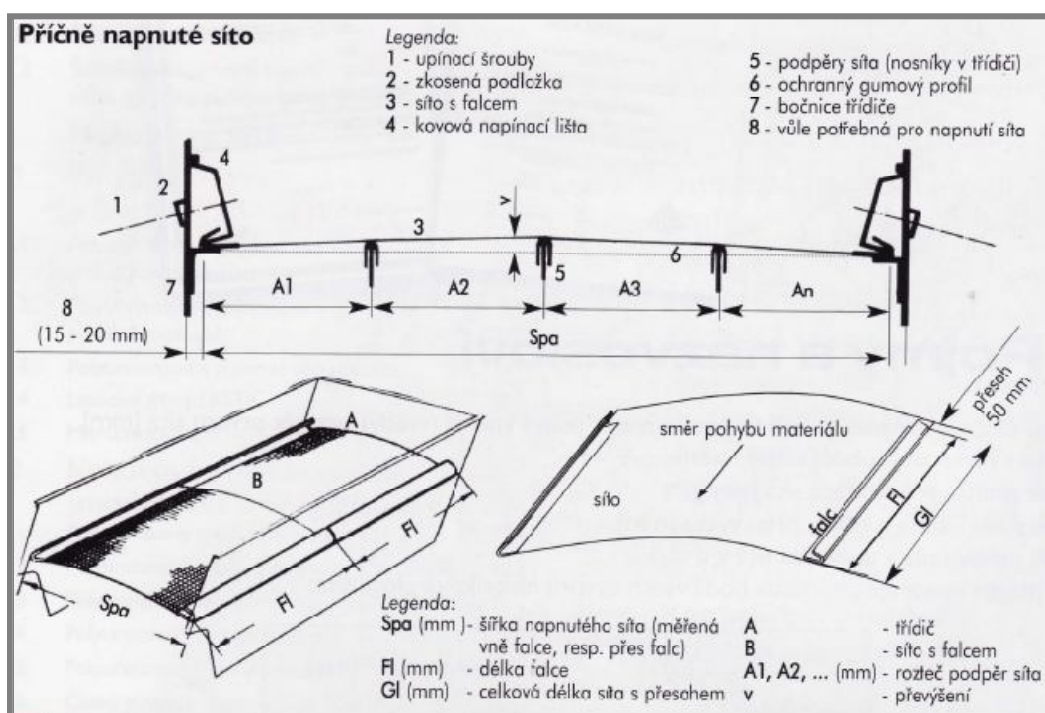
Skříň je vyrobena z plechu o tloušťce 8mm. Pro výrobu byla zvolena technologie dělení plechu pomocí CNC dělicího plazmového automatu. Při této operaci byly vypáleny veškeré díry pro šrouby a veškeré technologické (obr. 6-1, 7) a funkční otvory. Dělení je provedeno pomocí plazmového hořáku, který pracuje s tolerancí 1mm, což je pro tento díl dostačující.

Tvar skříně je dán sklonem třídíče a navazujícím skluzem, který musel být zasunut pod sítové plochy, aby nedocházelo k nežádoucímu propadu materiálu mezi síty a skluzem a zároveň tak, aby se nestřetávaly rošty sítových ploch s hranou skluzu (viz obr. 6-2). Tyto střety by způsobovaly poškození kolizních dílů a špatnou funkci třídíče, proto jsou mezery navrženy na osminásobek amplitudy třídíče. Takto velká vzdálenost je volena s toho důvodu, že při náběhu a doběhu třídíče dochází k několikanásobnému nárůstu amplitudy s velkými rázovými silami, které by mohly navazující díly poškodit.



Obr. 6-2 Třídič 16x40-ŘEZ

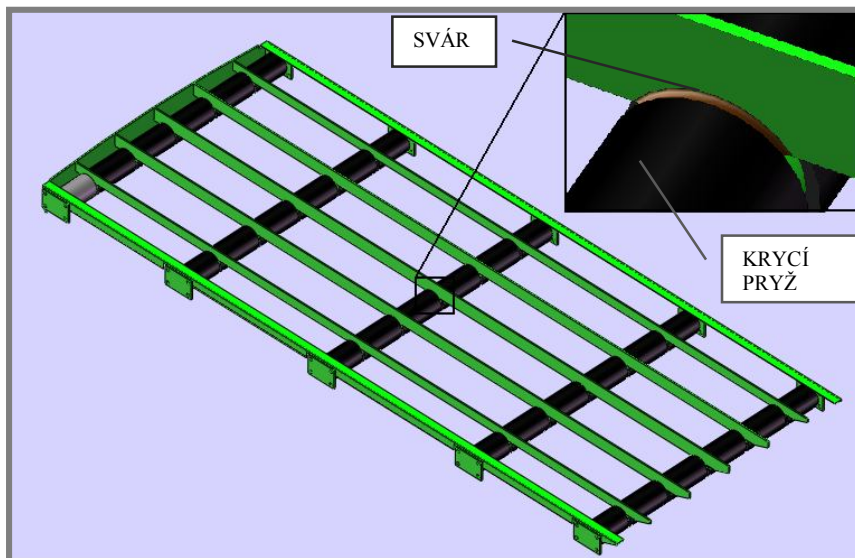
Stěny skříně třídiče jsou pomocí šroubových spojů spojeny s rošty síťových ploch, které byly navrženy podle výrobce sít. Aby bylo zajištěno maximální využití síťové plochy a nedocházelo k jejich nadměrnému opotřebení, musí tyto plochy vytvářet klenbu (obr. 6-3). Tento tvar síta rovnoměrně rozloží přivedený materiál po celé síťové ploše. Vytvoří se tak souvislá vrstva materiálu, která je snadněji vytříděna.



Obr. 6-3 Příčné napínání síta [3]

Každý z roštů je tvořen pětici plechů, které mají rozdílnou výšku profilu pro zajištění klenuté plochy síta. Plechy roštů jsou spojeny trubkami, které zároveň tvoří rozpěry skříně třídiče. Jednotlivé plechy jsou navrženy jako výpalky a obsahují vybrání pro

větší plochu svaru mezi trubkou a plechem (viz obr. 6-4). Mezi plech a síto je pak vložena pryžová lišta, která zajišťuje utlumení vibrací síta aby nedocházelo k jeho nadměrnému opotřebení. Na rozpěrných trubkách jsou mezi plechy umístěny pryžové límce, které chrání trubku před abrazivním opotřebením.



Obr. 6-4 Sítová plocha

Síta jsou napínána příčně pomocí napínacích lišt (obr. 6-5) a napínacího šroubu. Celá sítová plocha je tvořena čtyřmi síty. Napínací lišta je vyrobena z 8mm plechu, který je ohnut do požadovaného tvaru. Každá napínací lišta má stejnou délku, jako je délka jednoho síta. To umožňuje snazší manipulaci při montáži a lepší napnutí síta, protože délkové rozměry sít se mohou nepatrně lišit. Lišta je napínána třemi šrouby přes stěnu třídiče, které jsou zajištěny kontramaticí.

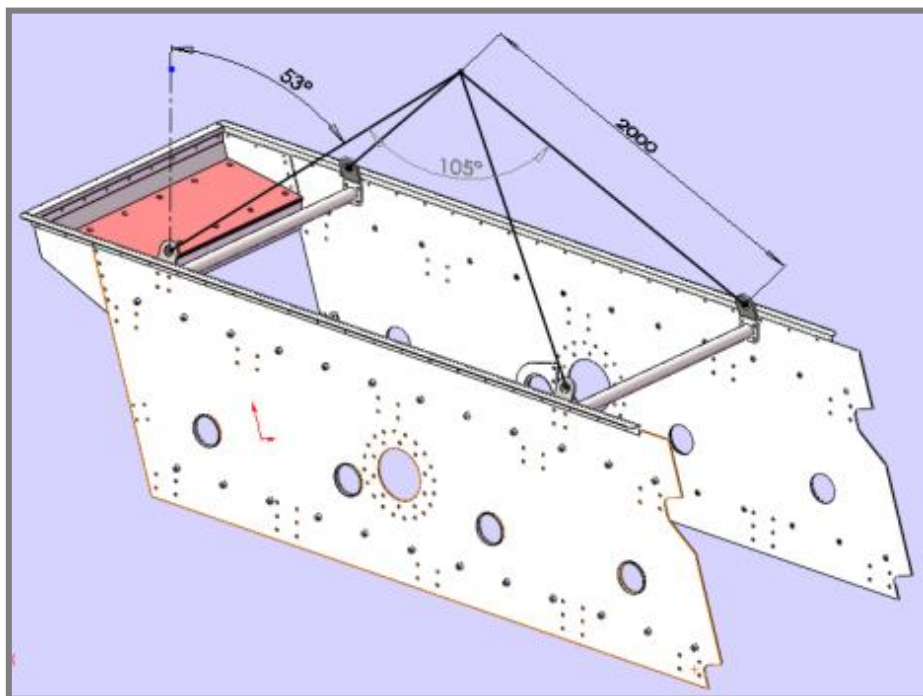


Obr. 6-5 Napínací deska

Dopadová násypka (obr. 6-1, 2) je navržena jako samostatný výměnný díl, který je možné po jeho možném opotřebení snadno vyměnit. Dopadová část je opatřena otěruvzdornou ocelí (obr. 6-1, 3), která je podložena pryží, aby se částečně utlumily rázy od padajícího materiálu. Rozměry jsou navrženy tak, aby veškerý materiál dopadal na násypku nikoli na síta, která by se tímto nadměrně opotřebila, a později by mohlo docházet k volnému propadu materiálu přes horní sítovou plochu. Celý díl

je připevněn ke stěnám třídiče pomocí deseti šroubů M16 a zpevněn lemem vedeným po obvodu třídiče.

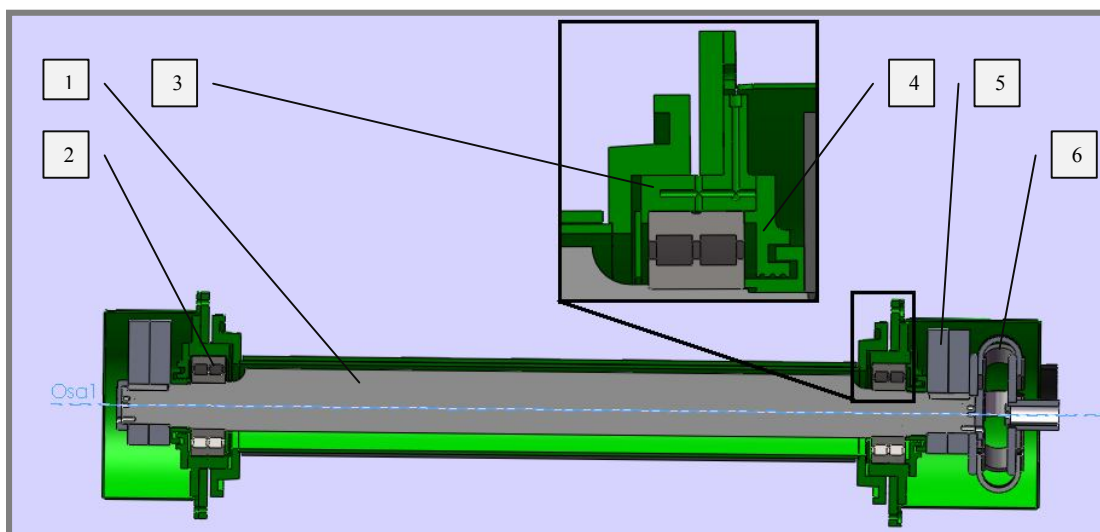
Pro snadnou manipulaci s třídičem jsou navrženy vazací konzoly, které jsou napříč vyztuženy trubkou zamezující deformaci stěny třídiče. Umístění těchto konzol je konstruováno pro lana délky 2m tak, aby vnější úhel β nepřesáhl 60° a vnitřní úhel α 120° [15] (viz příloha).



Obr. 6-6 Vazací konzoly

Otvor pro budič ve skříni třídiče byl navrhován postupně ve třech etapách. První etapou bylo přibližné umístění do středu skříně. V této fázi nebyla známa velikost budiče ani jeho přesné umístění, které musí být v těžišti třídiče. Ve druhé etapě po navržení celého třídiče byl tento otvor umístěn do jeho těžiště a předběžně byl navržen také budič, resp. zástavbové rozměry a hmotnost byla převzata z již existujícího stroje. Ve třetí fázi, byl ve firemním softwaru sestaven výpočet potřebné budící síly, která je závislá na celkové hmotnosti třídiče a na základě těchto výsledků byly aktualizovány zástavbové rozměry a hmotnost budiče vibrací. Protože došlo ke zvětšení zástavbových rozměrů budiče a nárůstu celkové hmotnosti, bylo zapotřebí adekvátně upravit rozměry skříně třídiče. Poté byla znovu určena virtuální hmotnost třídiče a výpočet aktualizován. Tímto způsobem bylo provedeno několik iterací, dokud nebylo dosaženo optimální budící síly. Při finálním ladění lze již pouze modifikovat excentricitu hřídele, aniž by se měnily rozměry budiče nebo skříně třídiče.

6.1.1 Sestava budiče vibrací



Obr. 6-7 Budič vibrací

Sestava budiče se skládá z excentrické hřídele (obr. 6-7, 1), která je uložena v dvouřadých soudečkových ložiscích (obr. 6-7, 2), ložiskových domků (obr. 6-7, 3), labyrintů (obr. 6-7, 4), koncových nevývažků (obr. 6-7, 5) a pružné spojky (obr. 6-7, 6).

Princip konstrukce je převzat z již existujícího stroje a byly na ní provedeny jen nepatrné změny. Dimenzování hřídele a nevývažků bylo provedeno ve firemním softwaru pro výpočet potřebné budící síly, jak již bylo výše uvedeno. Pro ověření výsledků byl proveden srovnávací výpočet dle publikace Polínský [1] (viz dále kapitola Uložení třídiče).

Hřídel je vyrobena s oceli 12 050 a po obrobení je kalena. Průměr hřídele je stejný jako excentricita dimenzována v závislosti na velikosti třídiče. Oba tyto parametry musí být navrženy dle konkrétní budící síly danou výpočtem. Při nedostatečné budící síle by nebyla dosažena potřebná amplituda třídiče, což by způsobovalo špatnou separaci jednotlivých frakcí, v horším případě by mohlo způsobit zahlcení třídiče. Výrazné předimenzování budiče, by také vedlo ke špatné separaci, ovšem v tomto případě by amplituda byla velká a zrno by se od síta převážně odráželo. Také by vzrostlo napětí ve stěně a v uložení třídiče, které by mohlo vést k jejich poškození.

Interním výpočtovým softwarem byla stanovena požadovaná budící síla. Ta byla tvořena součtem odstředivých sil od excentrické hmotnosti hřídele a nevývažků tak, aby se eliminoval průhyb hřídele.

Samotná hřídel je pak po obou stranách osazena dvouřadým soudečkovým ložiskem, které umožňuje naklopení při průhybu hřídele a možnosti nesouososti jeho uložení ve skřini třídiče.

V domku ložiska jsou otvory pro šrouby M16 a vybrání pro hlavu šroubu. Toto vybrání slouží pro snazší montáž a je rozměrově navrženo tak, aby nebylo z vnitřní strany zapotřebí žádného klíče při dotahování šroubů. Na jeho vnějším obvodu je pak umístěna maznice a přes systém kanálků je touto maznicí dodáváno mazivo do ložiska a následně pak do prostoru labyrintů.

Ložisko je přitlačováno tzv. labyrintem, který zamezuje přístupu vody a nečistot do prostoru ložiska. Jeho prostor je zaplněn mazacím tukem, který se do tohoto

prostoru doplňuje vždy při domazání ložiska. Tímto se vytlačí znečištěný tuk z labyrintů.

Na koncích hřídele jsou umístěny nevývažky, které se usazují na pero. Tvar nevývažků je optimalizován tak, aby potřebná budící síla byla vyvozena minimální hmotností nevývažků. Nevývažky jsou vyrobeny jako výpalky a jejich vnitřní otvory pro hřídel a pero pak následně obrobeny. Pro zvýšení přesnosti vnějších rozměrů výpalky je vyroben ze dvou tenkých plechů.

Na jednom z krajních nevývažků je umístěna pružná spojka. Tato spojka tlumí rázy při rozběhu a eliminuje excentricitu mezi pevně usazeným elektromotorem a vibrujícím třídičem. Skládá ze dvou kotoučů, přičemž jeden je opatřen osazením pro hřídel a druhý je upevněn na nevývažek. Kotouče jsou spojeny pryžovými segmenty pro přenos kroutícího momentu.

6.1.2 Kontrolní výpočet pera na hřídeli budiče

Otlačení pera:

$$P = 11 \text{ kW}$$

$$f = 16 \text{ Hz}$$

$$d = 90 \text{ mm}$$

$$\text{pero } 25 \times 14 \times 95$$

$$t_1 = 5,3 \text{ mm}$$

$$\text{materiál pera: ocel 11 600.0}$$

$$p_D = 75 \text{ MPa}$$

$$Mk = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi f} = \frac{11 \cdot 10^3 \text{ W}}{2\pi \cdot 16 \text{ Hz}} = 109,5 \text{ Nm} \quad (6.1)$$

Kde:

P [kW] – výkon elektromotoru, který má provozní frekvenci otáčení 16 Hz.

Průměr konce hřídele: $d = 90 \text{ mm}$.

$$F = \frac{2Mk}{d} = \frac{2 \cdot 109,5 \text{ Nm}}{0,09 \text{ m}} = 2433,3 \text{ N} \quad (6.2)$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{l_{\xi} t_1} = \frac{2433,3 \text{ N}}{0,07 \text{ m} \cdot 0,0053 \text{ m}} = 6,6 \text{ MPa} \ll 75 \text{ MPa} = p_D \quad (6.3)$$

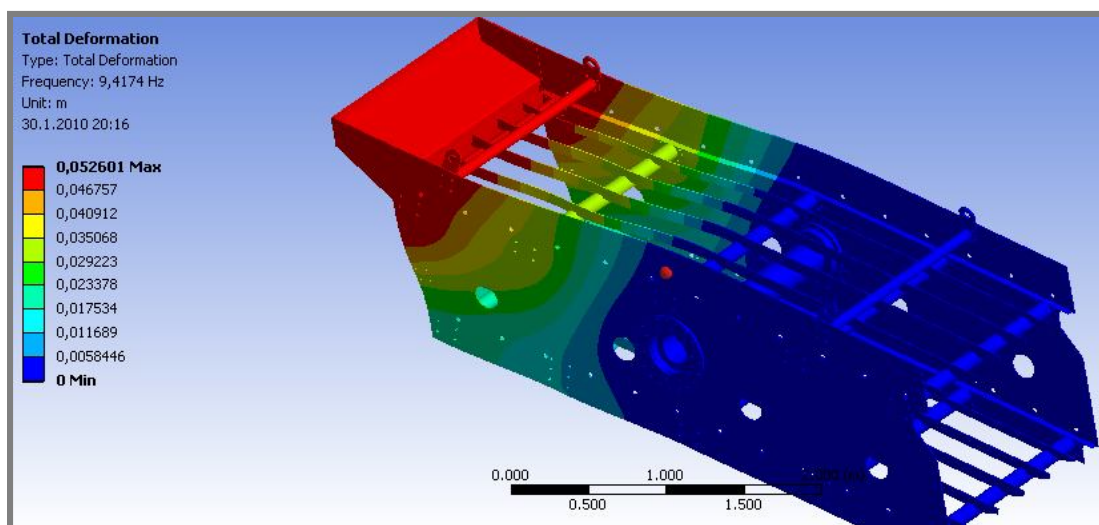
Pero na otlačení vyhovuje.

6.2 Kontrolní výpočty třídiče

6.2.1 Modální analýza

Navržená soustava třídiče kmitá s frekvencí 16 Hz (provozní otáčky budiče), bylo tedy nutné provést po navržení a upravení jednotlivých dílů a sestav třídiče modální analýzu pro stanovení vlastních frekvencí jednotlivých dílů třídiče.

Sestava třídiče byla v programu SolidWorks uložena do formátu STEP a importována do softwaru Ansys Workbench, kde byla provedena modální analýza. Pro vytvoření sítě byl zvolen prvek solid 187. Jedná se o desetibodový, tetrahedrický prvek. Na stěnu třídiče byla aplikována elastická vazba, která odpovídá tuhosti pružin. Po dokončení výpočtu bylo programem stanoveno šest vlastních frekvencí.



Obr. 6-8 Modální analýza

Výpočtem byly zjištěny tyto vlastní frekvence:

Tab. 2 Vlastních frekvencí

Model > Modal > Solution

Mode	Frequency [Hz]
1,	9,4
2,	10,9
3,	17,4
4,	17,5
5,	35,5
6,	37,2

Při frekvenci 9,4Hz se deformuje zadní část stěny třídiče (obr. 6-8). Pokud hodnota vibrací dosáhne 10,9Hz, deformuje se stejným způsobem přední část stěny třídiče (viz. příloha). Další výsledné vlastní frekvence se pohybují těsně nad 17,4Hz. Při frekvenci 17,4Hz se opět deformuje zadní část a při 17,5Hz přední část stěny třídiče. Výsledné deformace jsou si podobné. Lze se proto hovořit o vlastních tvarech soustavy, které se projevují při frekvenci 17,4Hz resp. 17,5Hz, jež jsou harmonické frekvence skříně třídiče. Při frekvencích 35,5Hz a 37,2Hz se vlastní tvary přední a zadní části znovu opakovaly. Těchto hodnot však třídič za provozu nedosahuje, proto pro něj nejsou nikterak nebezpečné. Zatím co hodnoty 17,4Hz a 17,5Hz jsou již velmi blízko provozní frekvenci třídiče, proto je velmi důležité, aby třídič za provozu těchto frekvencí nedosáhl. Prázdný třídič kmitá s frekvencí pohybující se kolem 16Hz a zatížený pak v rozmezí 15,5-16Hz. Pokud by hrozilo nebezpečí dosažení vlastních frekvencí musely by být otáčky elektromotoru sníženy např. pomocí frekvenčního měniče.

Přes frekvenci 9,4Hz a 10,9Hz třídič přechází při rozběhu i doběhu. Vzhledem k tomu, že doba rozběhu je maximálně 3s setrvání v oblasti vlastní frekvence je v

řádech desetin sekund. Doba doběhu je 7s. I když k rezonančním jevům dochází, nejsou nikterak nebezpečné, protože trvají méně než jednu vteřinu.

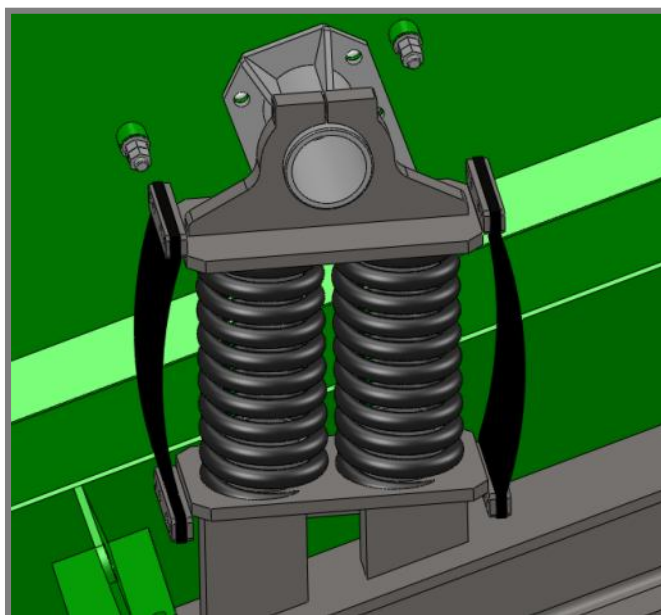
Při zkušebním provozu třídiče na provozní frekvenci 16Hz a proměnném zatížení třídiče nebyly spatřeny žádné projevy rezonančního chování. Toto chování bylo pozorováno pouze při doběhu třídiče, kdy byl přechod přes vlastní frekvenci doprovázen nepatrným „zadrnčením“ bočnic třídiče. Vzhledem k tomu, že rezonanční projevy nebyly výrazné a objevují se pouze při doběhu, nejsou nikterak nebezpečné pro chod stroje ani jeho bezpečnost.

Pro prvotní výpočet je použit pouze zjednodušený model třídiče. Tento model neobsahuje množství dílů, které jsou na něj připevněny. Jako jsou například síta, napínací lišty, budič atd. Všechny tyto součásti mění hmotnost a zejména tuhost celé soustavy. Pro získání přesných hodnot by bylo zapotřebí doplnit chybějící díly nebo je nahradit vhodnou vazbou. Tento výpočet však nebyl proveden, protože je obtížné řešitelný a přesahuje rozsah této diplomové práce.

6.3 Uložení třídiče

Celá sestava třídiče je uložena na osmi vinutých pružinách, které jsou umístěny na konzolách třídiče a na rámu. Tyto pružiny umožňují kmitání třídiče a zároveň omezují přenos vibrací do konstrukce rámu. Správné navržení pružin je velice důležité pro správnou funkci třídiče a výslednou stabilitu třídiče. Nevhodně dimenzované pružiny způsobují nadměrné a nestabilní vibrace nebo naopak nedostatečnou velikost amplitudy.

U měkkých pružin dochází k dosedání jednotlivých závitů pružiny a veškeré rázy se přenáší do konstrukce rámu a také do konzol třídiče. To může způsobit destrukci rámu či dalších částí třídiče. Tvrdé pružiny způsobují nestabilní vibrace a přenášejí je do rámu stroje.



Obr. 6-9 Uložení třídiče

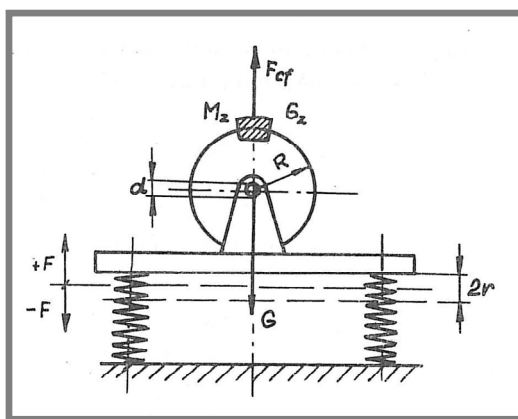
Pružiny je nutné navrhnout tak, aby třídič kmital s amplitudou 4mm, aby byla zajištěna správná funkce třídiče. Proto je důležité dobře stanovit jejich velikost, počet a tuhost. Jejich umístění musí být takové, že vybuzená amplituda je v každém bodě třídiče stejná.

Z firemního softwaru byla stanovena tuhost jedné pružiny na 96 N/mm.

Protože jsem s firemním softwarem pracoval poprvé a postup výpočtu nebyl zcela zřejmý, provedl jsem kontrolu získaných výsledků.

Pro kontrolu hodnoty tuhosti pružiny byl použit výpočet dle publikace Ing. Zdeněk Polický CSc [1].

Jak je uvedeno v publikaci, zavádí se zjednodušený předpoklad, že vibrační třídič je vodorovné síto poháněné excentrickým závažím a usazené na čtyřech vinutých pružinách.



Obr. 6-10 Zjednodušené schéma třídiče [1]

Předpokládáme, že se soustava může pohybovat jen ve vertikálním směru [1]. Potřebná síla pro deformaci pružiny je pak rovna:

$$F_p = kr_p \quad (6.4)$$

Z definice síly a zrychlení harmonického kmitavého pohybu lze vyjádřit periodu vlastních kmitů T_v :

$$F_p = m_n \frac{v^2}{r} = m_n \frac{\pi^2 r n_v^2}{30^2} = \frac{m_n r n_v^2}{90} \quad [\text{N}] \quad (6.5)$$

$$\text{když } v = \omega r = 2\pi f r = \frac{\pi r n_v}{30} \quad [\text{m.s}^{-1}]$$

$$T_v = \frac{60}{n_v} = 2\pi \sqrt{\frac{m_c r}{F}} \quad (6.6)$$

$$T_v = \sqrt{\frac{m_c r}{Kr}} 2\pi = 2\pi \sqrt{\frac{m_c}{K}} \quad [\text{s}] \quad (6.7)$$

Celková tuhost soustavy je K , tuhost 12 pružin je pak $K = 12k$.

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{m_c}{12k}} = \pi \sqrt{\frac{m_c}{3k}} \quad [\text{s}] \quad (6.8)$$

Předpokládáme tedy, že perioda vlastních kmitů v rezonanci odpovídá periodě budící frekvence otáčení [1].

$$T_v = T; n_v = n \quad (6.9)$$

Frekvence otáčení hřídele, s přihlédnutím k tuhosti pružin [1]:

$$n = \frac{1}{T_v} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{3k}{m_c}} \quad [\text{s}^{-1}] \quad (6.10)$$

Tuhost pružin v rezonanci

$$k = \frac{m_c n^2 \pi^2}{3} = \frac{2500 \text{ N} \cdot 16^2 \text{ Hz} \cdot \pi^2}{3} = 2,223 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \quad (6.11)$$

Výsledná tuhost jedné pružiny pro rezonanční třídič je vysoká a bylo by nutné volit větší počet pružin a malý počet závitů pro optimální velikost amplitudu třídiče. Tím by však značně narostlo napětí v pružině a hrozilo by její destrukce.

Proto se v praxi používá podmínka, že vlastní frekvence pružin má být v rozmezí 1/5 až 1/10 provozních otáček [1]:

$$n_v = 300 \sqrt{\frac{1}{y_{st}}} = \left(\frac{1}{5} - \frac{1}{10}\right) n \quad [\text{min}^{-1}] \quad (6.12)$$

Známe-li, hodnotu otáček n platí [1]:

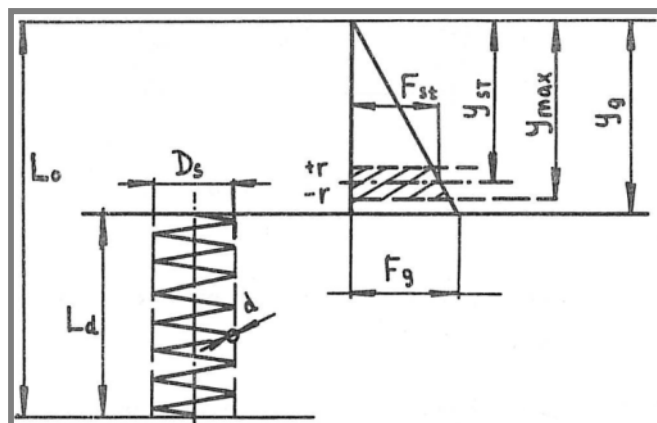
$$y_{st} = \frac{(22,5 - 90) \cdot 10^6}{n^2} \quad [\text{mm}] \quad (6.13)$$

Pro $n = 1000/\text{min}$:

$$y_{st} = (22,5 - 90) \quad [\text{mm}] \quad (6.14)$$

Statická deformace je za klidu vyvozena celkovou hmotností kmitající soustavy (třídiče a materiálu) z toho je možné určit zatěžující sílu jedné pružiny. Celková hmotnost třídiče maximálním množstvím materiálu je 4100kg.

$$F_{st} = \frac{mg}{z} = \frac{2500 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}{8} = 3\,065,63 \text{ N} \quad (6.15)$$



Obr. 6-11 Deformace pružiny [1]

Maximální stlačení:

$$y_{max} = y_{st} + r_p \quad (6.16)$$

$$y_{max} = 54 \text{ mm}$$

Kdy: $r_p = 4 \text{ mm}$ a y_{st} volím $y_{st} = 50 \text{ mm}$

Hodnotu 50 mm byla zvolena, protože při doběhu a rozběhu dosahuje amplituda třídiče až 40 mm. Dalších 10 mm je uvažováno jako rezerva, aby byl zaručen stálý kontakt mezi pružinou a třídičem.

Maximální přípustné stlačení

$$y_g > y_{max}$$

$$\text{volím } y_g = 55 \text{ mm}$$

$$F_g = F_{st} \frac{y_g}{y_{st}} = 3065,63 \text{ N} \cdot \frac{55 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 3372,19 \text{ N} \quad (6.17)$$

$$k = \frac{F_g}{y_{max}} = \frac{3372,19 \text{ N}}{0,054 \text{ m}} = 62448 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \quad (6.18)$$

$$k = 62,448 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Jak je vidět z výpočtu, výsledná tuhost pružin vyšla významně nižší než tuhost stanovená softwarovým výpočtem. Protože se však podle tohoto programu vyrobilo několik funkčních strojů, zadavatel zvolil na stroji ponechat pružiny s tuhostí 98 N/mm. Což se později ukázalo jako chybné rozhodnutí (viz kapitola 6.8.2 Výstupní měření).

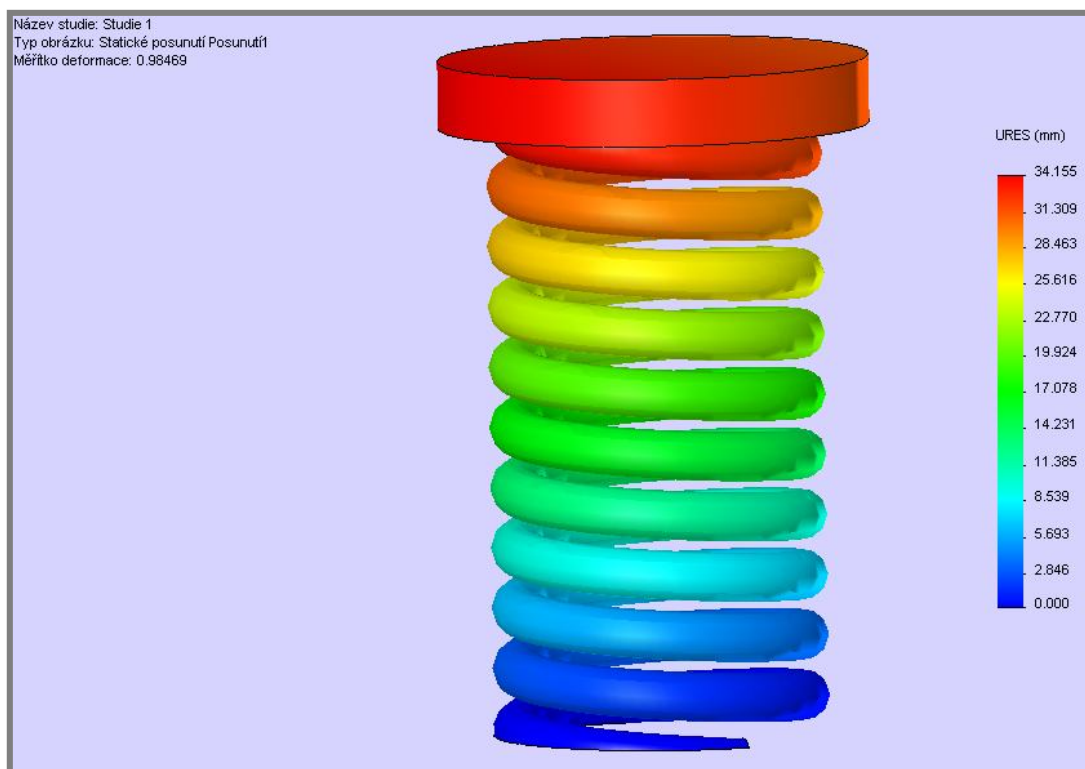
6.4 Rozložení napětí v konzole pružin

6.4

Pružiny jsou uchyceny na konzole, která je připevněna šrouby do stěny třídiče. Pro zjištění napětí a deformací byla konzola nepatrně upravena pro snazší vytvoření konečnoprvkové sítě a byl proveden výpočet metodou MKP. Protože se nepodařilo

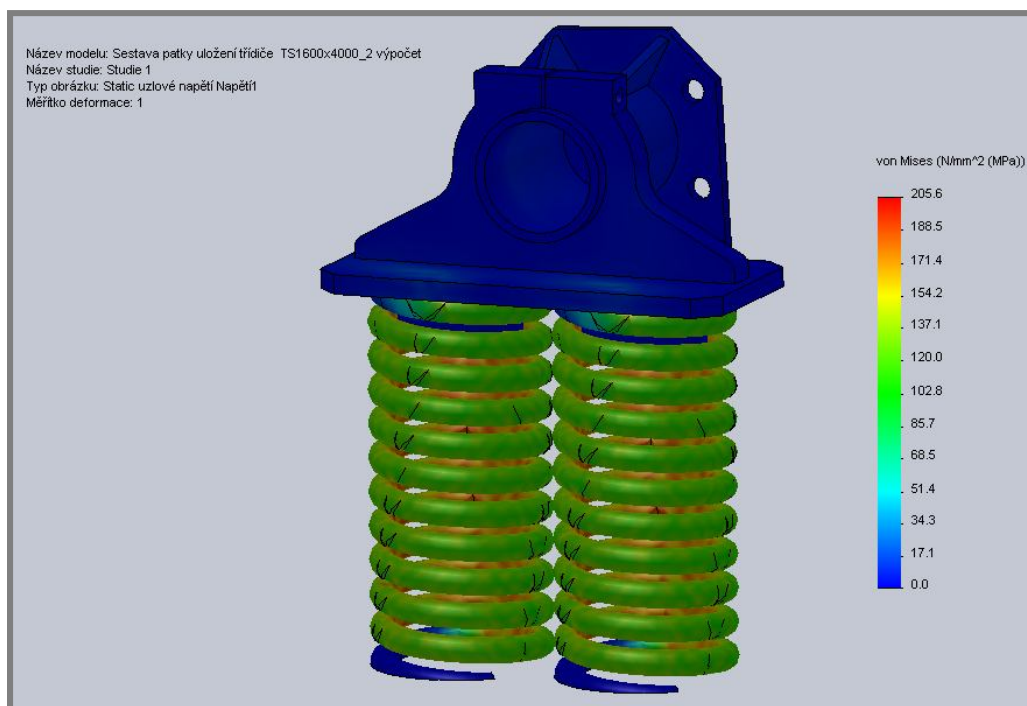
vytvořit elastickou vazbu, která by simulovala uložení na pružinách, byl vytvořen model navržené pružiny. Materiálové vlastnosti byly zadány dle tabulkových hodnot navrženého materiálu pružiny. Tato pružina pak byla použita místo elastické vazby. Konzola byla usazena na modelu pružiny a na stěnu, kde byla uchycena na třídíči, byla aplikována rovinná vazba. Poté byla konzola zatížena silou odpovídající hmotnosti třídíče s materiálem.

Podle výpočtu měla být hodnota posunutí prázdného třídíče vážícího 2500kg rovna 31,9 mm. Proto byl vytvořen kontrolní výpočet pružiny, která měla zadány materiálové konstanty podle dokumentace dodané výrobcem pružin a byla zatížena ekvivalentní elementární silou $F = 3\,125\text{ N}$. Stlačení pružiny, pak bylo 34,155mm, což odpovídá tuhosti $k = 91,6\text{ N/mm}$, čímž se dá pružina považovat za reálný model.



Obr. 6-12 Stlačení pružiny

Jak už bylo zmíněno dříve plně zatížený třídíč má hmotnost $m = 4\,100\text{ kg}$. Z toho plyne, že jedna pružinová konzola je zatížena silou $F = 10\,250\text{ N}$. Tato síla je aplikována na zadní stěnu konzoly stejně jako plošná vazba. Takováto kombinace simuluje statické zatížení od plně zatíženého třídíče. Na volný konec pružiny je aplikována vazba vetknutí.



Obr. 6-13 Napětí v pružině

Kritické místo se nachází na vnitřní straně pružiny, kde je nejvyšší napětí. Jeho hodnota je $\sigma_{\max} = 205 \text{ MPa}$, přičemž hodnota meze kluzu je u tohoto materiálu $R_e = 900 \text{ MPa}$. Maximální napětí v konzole je rovno $\sigma_{\text{red}} = 50 \text{ MPa}$, mez kluzu pak u toho materiálu je $R_e = 320 \text{ MPa}$. Jak je vidět z výsledků simulace, všechna napětí jsou výrazně pod mezí kluzu, proto by se zvláště na konzole dala ubrat část materiálu např. zmenšit tloušťka plechu ze stávajících 12mm např. na 8mm. Tím by se však snížila její tuhost, a protože je tento stroj prototyp, bude tato tloušťka zachována.

Kontrolní výpočet napětí v pružině:

$$d = 22 \text{ mm}$$

$$D = 128 \text{ mm}$$

$$F_d = 5\,125 \text{ N}$$

$$\tau_{\max} = K_S \frac{8F_d D}{\pi d^3} = 1,086 \cdot \frac{8 \cdot 5125 \text{ N} \cdot 0,128 \text{ m}}{\pi \cdot 0,022^3 \text{ m}} \quad [\text{MPa}] \quad (6.19)$$

Kde:

$F_d [\text{N}]$ – je elementární síla působící na jednu pružinu.

$d [\text{mm}]$ – je průměr pružinového drátu.

$D [\text{mm}]$ – je střední průměr pružiny.

Korekční smykový faktor:

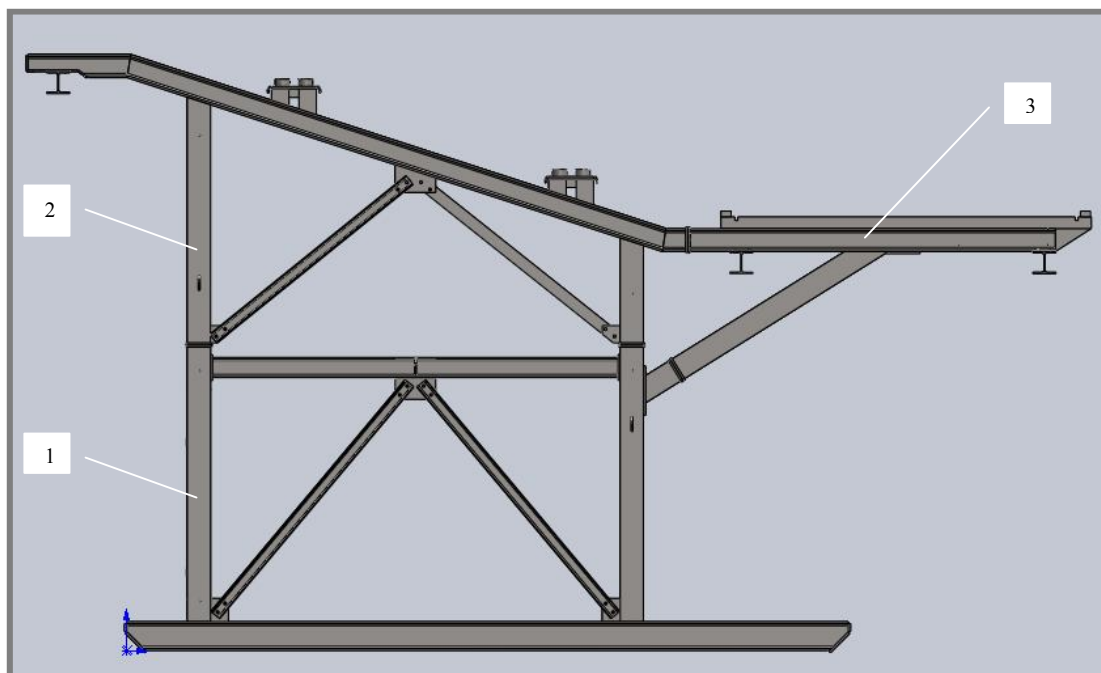
$$K_S = 1 + \frac{0,5d}{D} = \frac{0,5 \cdot 0,022 \text{ m}}{0,128 \text{ m}} = 1,086 \quad (6.20)$$

$$\tau_{\max} \approx 170 \text{ MPa}$$

Kontrolní výsledek smykového napětí je nižší než napětí vypočtené metodou MKP. Rozdíl je však vzhledem k mezi kluzu materiálu nepatrný.

6.5 Rám třídiče

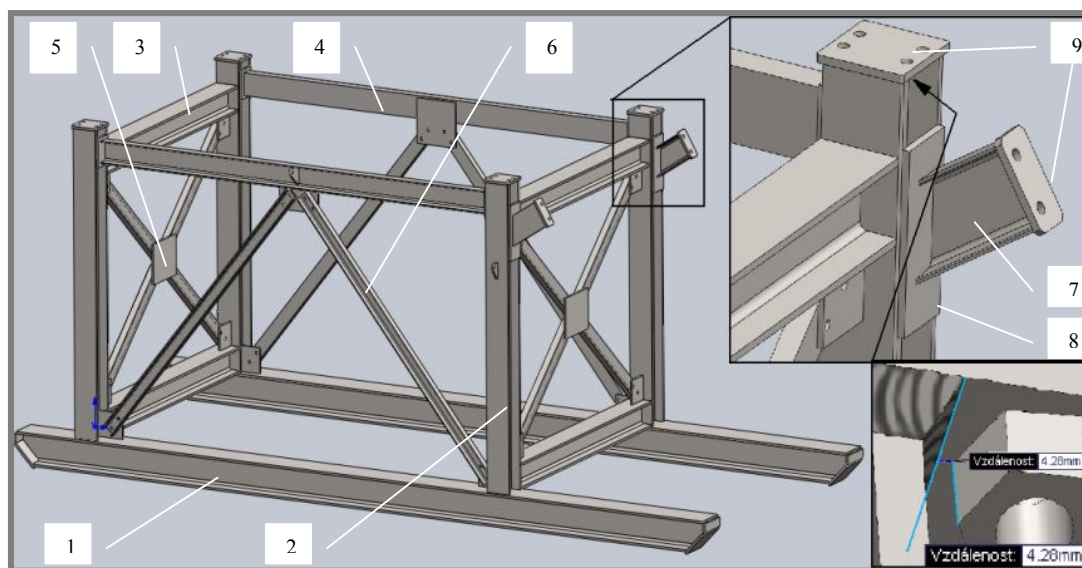
Konstrukce rámu se skládá ze tří částí. První tvoří spodní základová konstrukce (obr. 6-14, 1), na kterou se přenáší veškeré zatížení. Další částí je horní rám (obr. 6-14, 2), na kterém je usazen třídič, podsítný skluz a část ochozu. Poslední část nese posuvný skluz (obr. 6-14, 3), spodní skluz a druhou část ochozu se schody. Všechny tři části rámu jsou demontovatelné. Jednotlivé dílce jsou připevněny pomocí šroubů M20. Celý rám je navržen tak, aby nepřesahoval transportní rozměr návěsu, který je 2,45x2,7x13m.



Obr. 6-14 Sestava rámu

6.5.1 Spodní díl rámu

Spodní díl rámu se skládá ze spodní lyžiny (obr. 6-15, 1), která je navržena z profilu HEB 200, čtyř vzpěr z profilu HEB 160 (obr. 6-15, 2), čtyř příčných nosníků z téhož profilu (obr. 6-15, 3), ze dvou podélných příčníků tvořených profilem U120 (obr. 6-15, 4) a vnitřních (obr. 6-15, 5) a bočních výztuh (obr. 6-15, 6).



Obr. 6-15 Spodní díl rámu

Spodní lyžina je přesazena v přední části rámu z důvodu vyšší stability stroje. Pozice těžiště celého stroje nesmí ležet v blízkosti přední vzpěry resp. před ní, hrozilo by tím převrácení stroje nebo jeho nestabilita. Protože, se těžiště nachází za přední vzpěrou, ale pouze jen ve vzdálenosti 200mm, byla přední část ližiny prodloužena o 1000 mm, aby byla zaručena stabilita. Na první vzpěře bylo nutné napojit boční vzpěru podpírající třetí díl rámu resp. konzolu (obr. 6-15, 7) pro její uchycení. Musely zde být napojeny dva rozdílné profily HEB a U. Pokud by byl profil U vložen přímo do profilu HEB nebylo by zaručeno jeho dostatečné svaření. Proto byla na vzpěru přivařena deska (obr. 6-15, 8), na kterou bude přivařena konzola pro vzpěru. Deska je z každé strany o 10mm užší než profil HEB tím vznikl prostor pro koutový svár.

Po přidání čtyř přírub na vzpěry a dvou na konzoly (obr. 6-15, 9), bylo nutné rozvrhnout umístění děr pro šrouby. Pro maximální tuhost šroubového spoje je nutné, aby díry byly na okraji příruby a co nejblíže profilu. Proto je na přírubách vymodelován 10mm svár a naznačena matice M20 aby bylo možné díru umístit tak, aby nekolidovala se svárem. Po umístění díry je minimální mezera mezi svárem a maticí asi 4mm, což je dostačující pro montáž nástrčkovým klíčem.

Navržené vnitřní výztuhy jsou z profilu U80 a jsou vešroubovány do rámu, přičemž ve své středové části jsou přivařeny na desku. Toto „křížové“ vyztužení je nejvíce efektivní při příčných deformacích rámu a rám má pak větší tuhost.

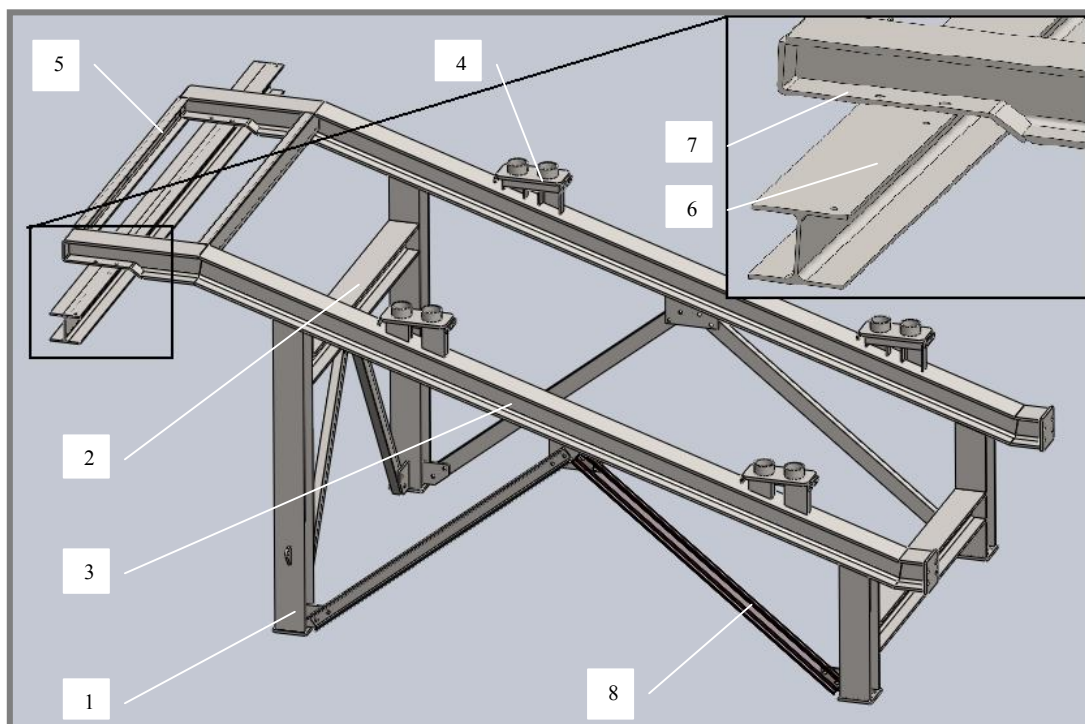
Boční výztuhy (obr. 6-15, 6) byly zprvu navrženy stejně jako ty vnitřní. Po dokončovacích konstrukčních úpravách a vložení pásových dopravníků, však s jedním tímto dopravníkem kolidovaly, a proto bylo nutné nahradit vzpěry jednoduššími a méně tužšími vzpěrami. Protože je rám celkově předimenzován, změna výztuh neměla žádné negativní projevy chvění nebo deformace rámu.

6.5.2 Horní díl rámu

6.5.2

Horní díl rámu se skládá ze vzpěr navazujících na spodní rám (obr. 6-16, 1), které jsou stejně jako u spodních vzpěr navrženy z profilu HEB 160, dvou příčných nosníků téhož profilu (obr. 6-16, 2), z hlavního nosníku (obr. 6-16, 3), na kterém jsou

umístěny konzoly pro usazení třídiče (obr. 6-16, 4), dále pak z profilů U 120 (obr. 6-16, 5) a příčného nosníku z profilu HEB 160 (obr. 6-16, 6), které slouží jako podpěry pro pracovní plošinu (ochoz) a výztuh z profilu U80 (obr. 6-16, 8).



Obr. 6-16 Horní díl rámu

Stejně jako všechny části stroje i horní díl rámu byl několikrát přepracováván z důvodů umístění dílů a podstavů na jeho konstrukci. Zejména bylo nutné usazení třídiče s navazujícími skluzy a nastavení jejich vzájemných poloh. Na základě poloh těchto dílů byla odvozena geometrie rámu.

Umístění vzpěr je navrženo tak, aby navazovaly na vzpěry spodního rámu. Hlavní nosník je skloněn pod úhlem 18° , aby kopíroval sklon skříně třídiče. Na tomto nosníku jsou umístěny konzoly pro usazení třídiče. Tato konzola byla složena ze dvou profilů U 120 a ocelové desky o tloušťce 12 mm, která odpovídá tloušťce desky na konzole třídiče. Na této desce jsou pak ve vzdálenosti 160 mm navařeny dvě trubky, které zaručují vystředění a vedení pružin.

Při navrhování pracovní plošiny, byl zadavatelem dán požadavek, aby horní hrana pracovní plošiny pro obsluhu byla zarovnána s horní hranou hlavního nosníku. Toto usprádní zajištění rovny plochy plošiny v horní části rámu (viz kap. 6.6 Pracovní plošina). Proto bylo nutné upravit konec profilu HEB 160, aby vniklá mezera pro usazení pracovní plošiny měla 120 mm což odpovídá profilu U120, který je použit pro konstrukci rámu této pracovní plošiny. Toho bylo dosaženo vybráním části profilu, kdy byla odstraněna jeho spodní část do vzdálenosti 50 mm a ta byla nahrazena ohýbaným plechem o tloušťce 10 mm (obr. 6-16, 7). Do tohoto plechu jsou vyvrtány díry pro šrouby, na kterých bude upevněn příčný nosník nesoucí rám pracovní plošiny.

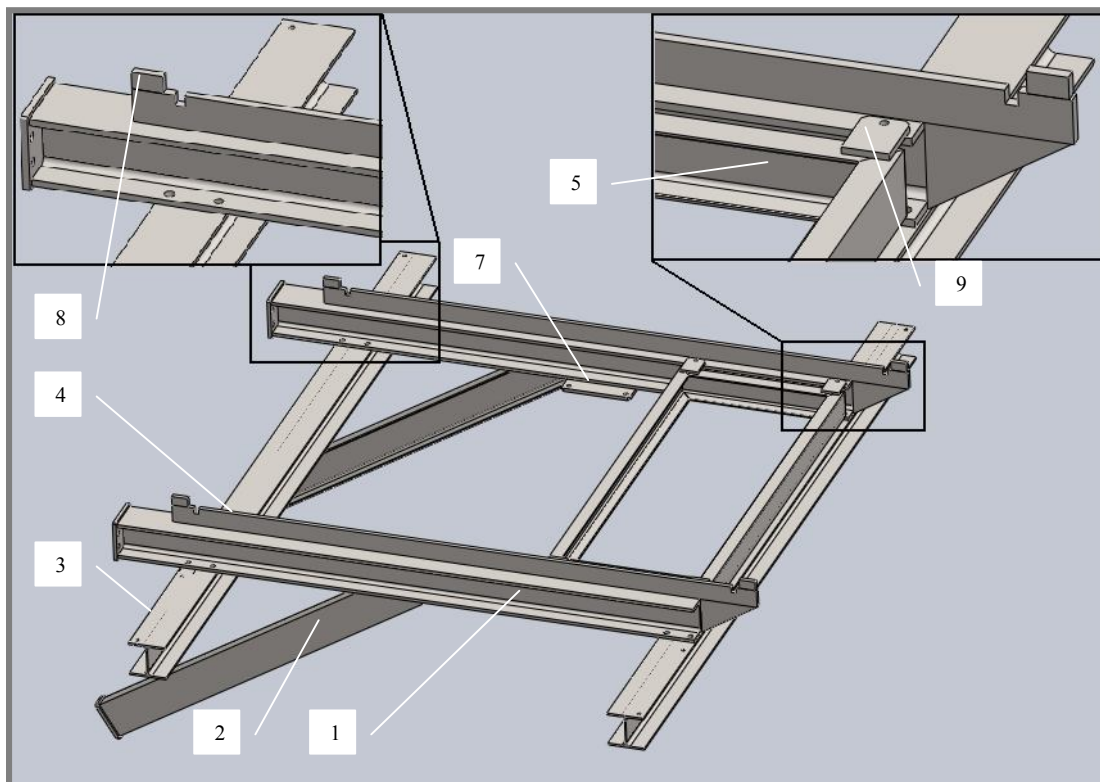
Výztuhy pod hlavním nosníkem jsou navrženy tak, aby zpevnily profil HEB v předpokládaném místě maximální ohybové deformace. Při dokončovacích konstrukčních úpravách a vložení skluzového koryta pro odvod podsítné frakce a

vody jedna z výztuh kolidovala s tímto korytem. Proto je tato výztuha potlačena (obr. 6-16, 8) a po všech konstrukčních úpravách, byla provedena pevnostní analýza celkové konstrukce rámu bez této výztuhy (viz kap. 6.4.4 pevnostní analýza rámu).

6.5.3 Podpěra skluzu

6.5.3

Podpěra skluzu se skládá z nosníku skluzu (obr. 6-17, 1) z profilu HEB 160, z dvou podpěr tvořených profilem U120 (obr. 6-17, 2), dvou podpěr ochozu (obr. 6-17, 3) z profilu HEB160, dvou kolejnic z ploché tyče 80x20 (obr. 6-17, 4) a z rámu pro upevnění pororoštu (obr. 6-17, 5).



Obr. 6-17 Podpěra skluzu

Geometrie podpěry skluzu byla stejně jako předchozí díly rámu odvozena od navazujících dílů v tomto případě pohyblivého a spodního skluzu. Nosník skluzu navazuje na horní díl rámu, ke kterému je upevněn pomocí dvou přírub. Každá tato příruba má čtyři díry pro šrouby M20. Podpěry pod nosníkem skluzu navazují na konzolu, která je přivařena na spodním rámu. Tyto podpěry jsou přivařeny k nosníku a ke konzole jsou upevněny dvěma šrouby M20.

Na nosník skluzu jsou přivařeny kolejnice tvořené plochou tyčí o tloušťce 20mm, které slouží k vedení posuvného skluzu. Na obou koncích kolejnic jsou vytvořeny otvory pro zajištění krajní polohy skluzu a dorazy (obr. 6-17, 8), které zabraňují vyjetí posuvného skluzu s kolejnic.

Pro upevnění spodního skluzu bylo nutné přivařit na podpěru skluzu konzoly (obr. 6-17, 7), které budou podírat přední část skluzu. Skluz je zkonstruován, tak že je položen na zadní podpěře pracovní plošiny a na zmiňované konzole (viz. spodní skluz).

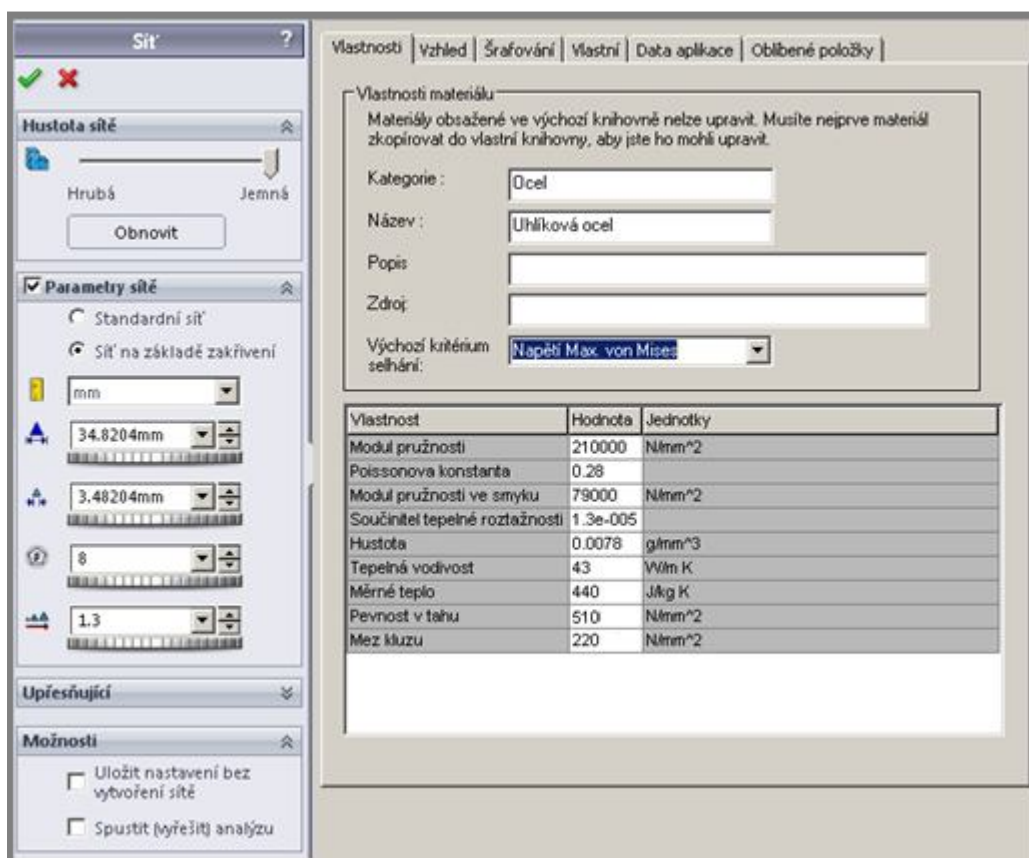
Aby mohl být spodní skluz snadněji usazen a zkompletován, bylo nutné navrhnout odnímatelný rám pororoštu (obr. 6-17, 5), který by mohl bránit při montáži. Proto je rám pororoštu usazen na čtyřech konzolách, které jsou uchyceny k rámu pomocí šroubů M12 (obr. 6-17, 9).

6.5.4 Pevnostní analýza rámu

Pevnostní analýza byla provedena metodou MKP v softwaru Simulation, který je součástí programu SolidWorks. Tato analýza je provedena v modulu „static“. Při správném dimenzování budiče a uložení třídiče by se neměly vibrace přenášet do konstrukce rámu nebo je přenos nepatrný a pro zjednodušení výpočtu je lze zanedbat a použít statickou analýzu. Firma rovněž vlastní pouze licenci na výpočet statických analýz, z toho důvodu ani nebylo možné uvažovat ve výpočtu dynamické účinky působící na rám.

Materiál rámu je uhlíková ocel (11 523) s materiálovými vlastnostmi, které jsou vypsané v tabulce na obr. 6-18 [14].

Parametry konečnoprvkové sítě jsou uvedeny v levé části obr. 6-18. Je zde zvolena „sít' na základě zakřivení“, která používá pro zasítování kvadratické objemové prvky, které jsou nezbytné pro úspěšné vytvoření konečnoprvkové sítě modelu, protože konstrukce resp. profily, ze kterých se konstrukce skládá, mají vygenerovaný rádius na svých vnitřních hranách. Jelikož většina použitých profilů má tloušťku stěny 13mm, nejmenší velikost elementu sítě byla zvolena přibližně 3,5 mm, aby bylo dosaženo min. tří prvků na tloušťku stěny profilu. Větší počet prvků by vzhledem k rozměrům modelu příliš prodloužil výpočtový čas.



Obr. 6-18 Vlastnosti materiálu a sítě

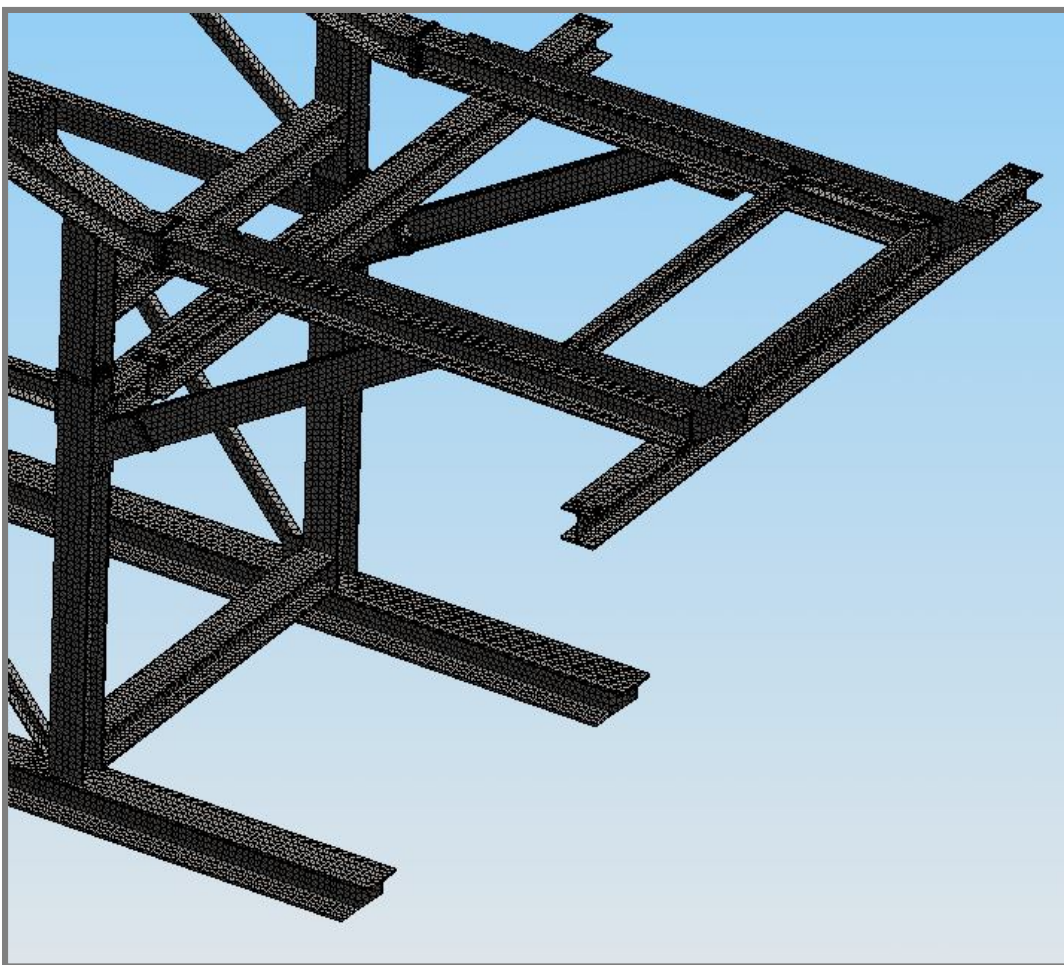
Po dokončení tvorby sítě byly stanoveny okrajové podmínky pro samotný výpočet.

Na spodní stranu lyžiny je aplikována vazba vetknutí. Ta simuluje usazení konstrukce na betonový podklad. Konzoly, na kterých je usazen třídíč, jsou zatíženy silou odpovídající hmotností třídíče a materiálu na sítích. Tato síla je navýšena o složku zrychlení třídíče, které je $a = 2,5 \text{ m/s}^2$. Jedná se o složku zrychlení, která je dána budičem vibrací a působí v jistém okamžiku spolu s gravitačním zrychlením. V tomto momentu je zatížení rámu největší, protože se jednotlivé složky zrychlení sčítají. Celková síla je pak rovna: $F_c = (m_T + m_M) \cdot (g + a) = 505\,000 \text{ N}$, kdy m_T je hmotnost třídíče, m_M je hmotnost materiálu na síťových plochách třídíče a g je složka gravitačního zrychlení.

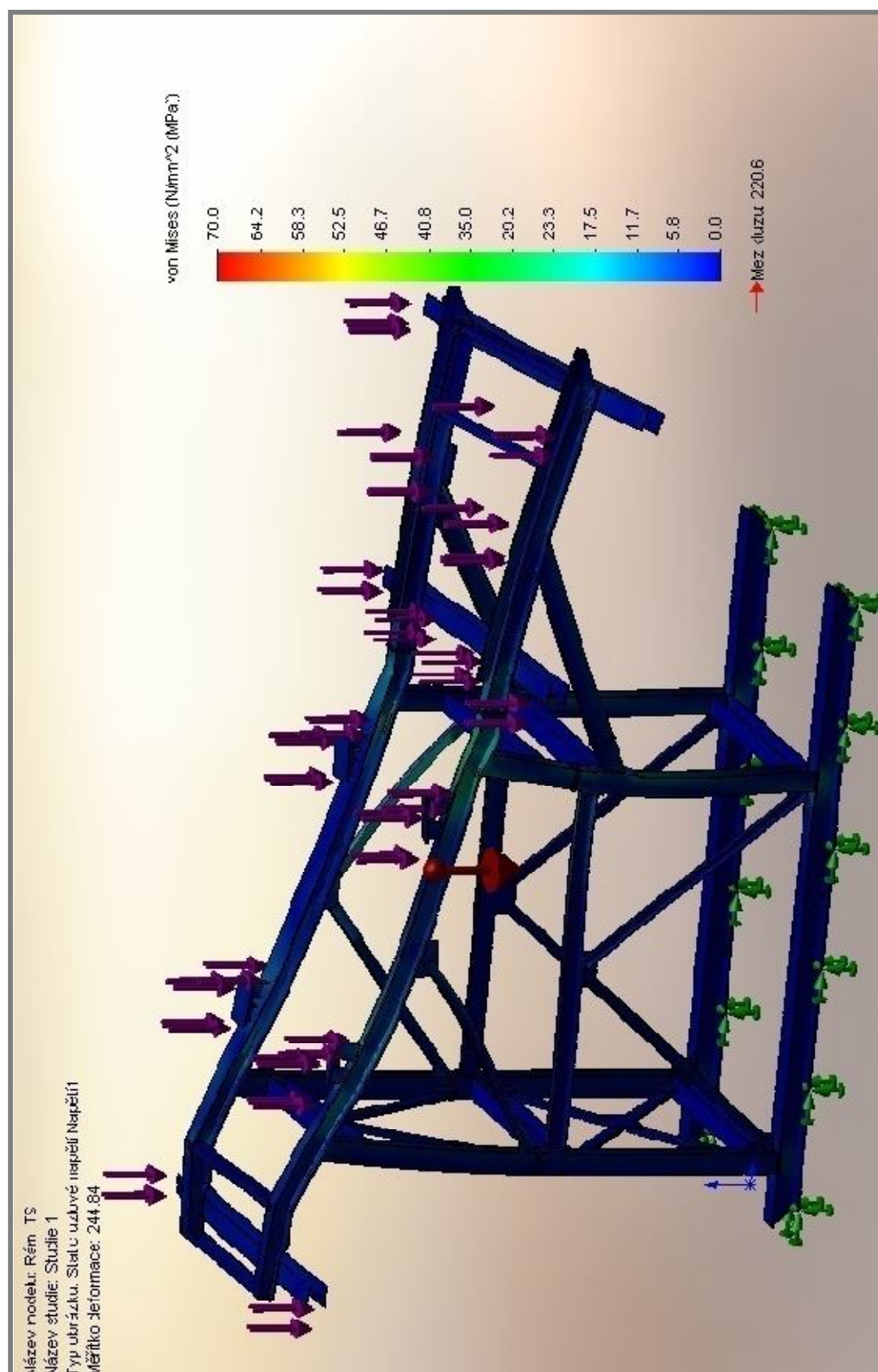
V místech, kde jsou uchyceny skluzy k rámu, jsou vytvořeny pomocné plochy, které jsou stejně velké, jako konzoly, jenž budou na rám dosedat (viz. obr 6-20). Zde pak jsou aplikovány síly od jednotlivých skluzů zahrnující kromě hmotnosti samotného skluzu i uvažované zatížení od tříděného materiálu. V přední části je tedy rám zatížen silou $F_{ps} = 6\,000 \text{ N}$ (posuvného skluzu) a $F_{PR} = 14\,000 \text{ N}$ (silou od spodního skluzu a otočných skluzů). Dále je konstrukce zatížena hmotností podsítného skluzu $F_{po} = 8\,000 \text{ N}$ a hmotností pracovní plošiny $F_{pp} = 12\,000 \text{ N}$.

Pro značný rozsah práce a nedostatku času nebyly do tohoto výpočtu zahrnuty sváry a šroubové spoje, které spojují jednotlivé části rámu.

Pro výpočet je použit řešič FFEPlus. Tento řešič vytváří matice, které jsou schopny řešit rozměrné díly.

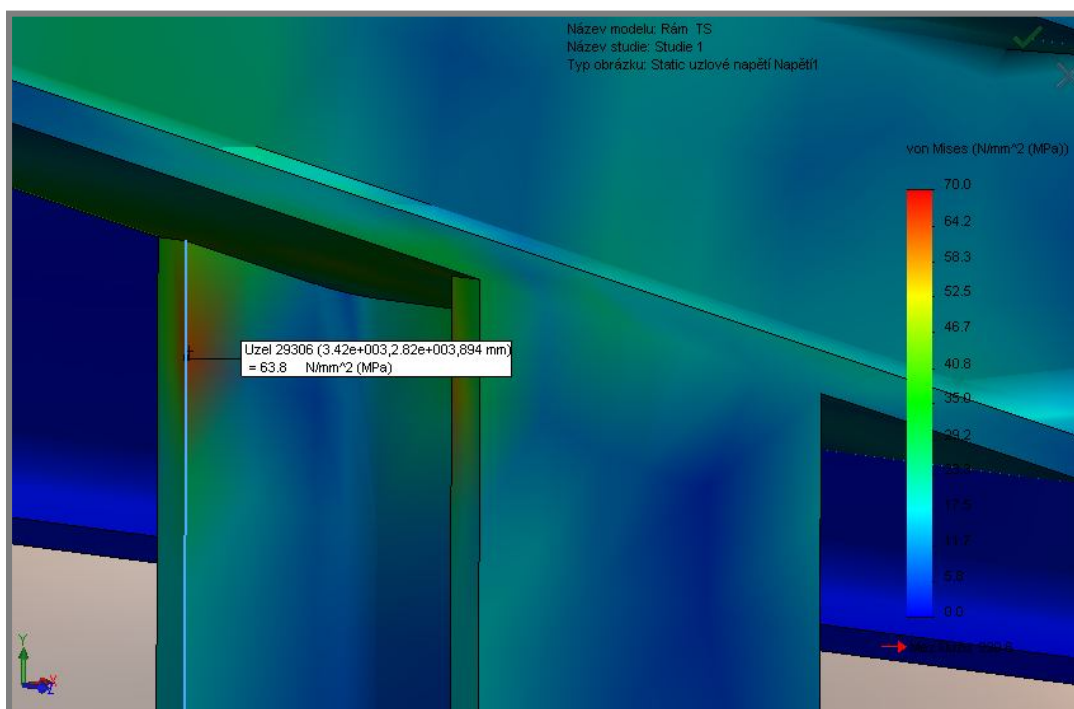


Obr. 6-19 Konečnoprvková síť použitá pro pevnostní analýzu



Obr. 6-20 Rozložení napětí v rámu

Výsledky analýzy napětí a předpokládaná deformace jsou zobrazeny na obr. 6-20. Oblast největšího napětí je v místě resp. v okolí dodatečně odstraněné výztuhy. Nejvíce namáhaná je vzpěra horního dílu rámu na straně chybějící výztuhy. Jak je vidět z obrázku 6-21 napětí zde dosahuje hodnoty 63,8 MPa. Mez kluzu materiálu je 220 MPa. Součinitel bezpečnosti pro tuto část rámu je $k = 3,45$. Což je dostatečně velká míra bezpečnosti, ale vzhledem k tomu, že jde o prototypový stroj a nejsou zde zcela zmapovány všechny zatěžující vlivy, budou zachovány stávající profily rámu.

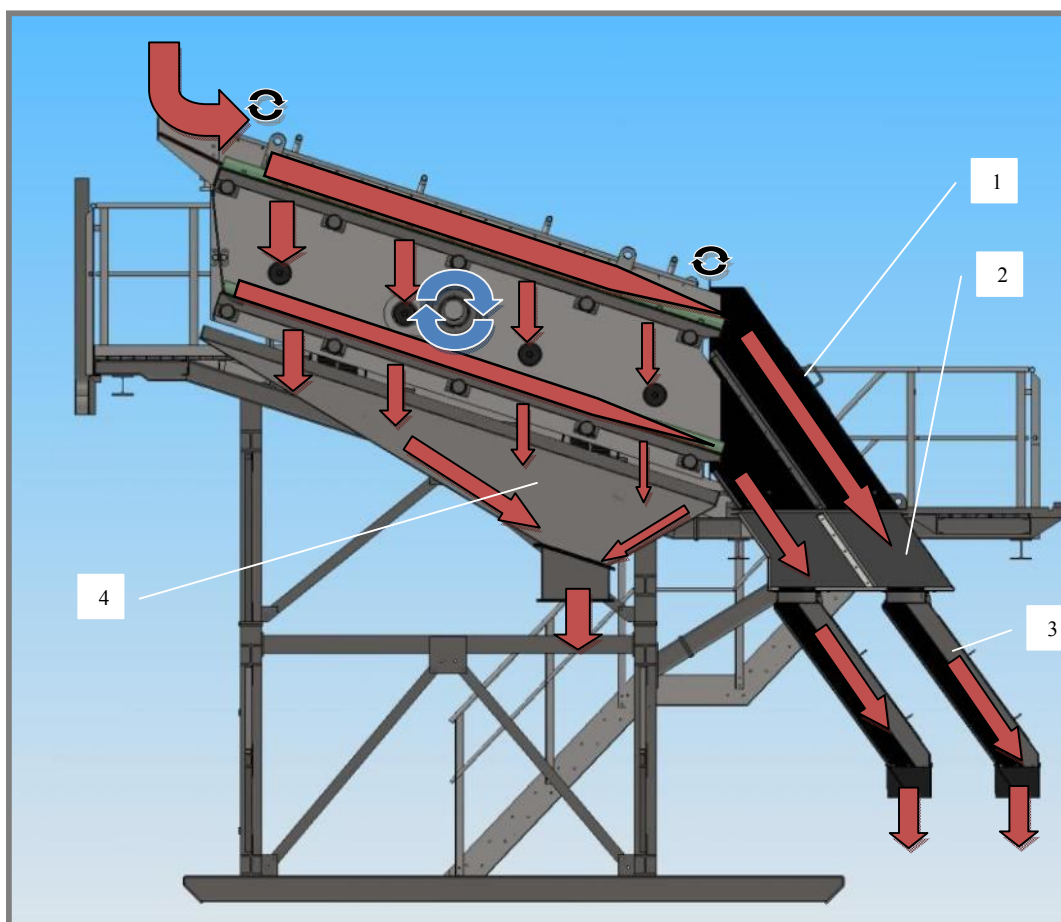


Obr. 6-21 Rozložení napětí v přední vzpěře

Protože ve výpočtu nebyly zohledněny sváry a šroubové spoje je tento výpočet pouze orientační. V důsledku časové náročnosti celého projektu se nebylo možno zabývat bližší studií rozložení napětí v rámu, která by se nejspíš prováděla po jednotlivých částech rámu ve výpočtovém programu Ansys.

6.6 Skluzy

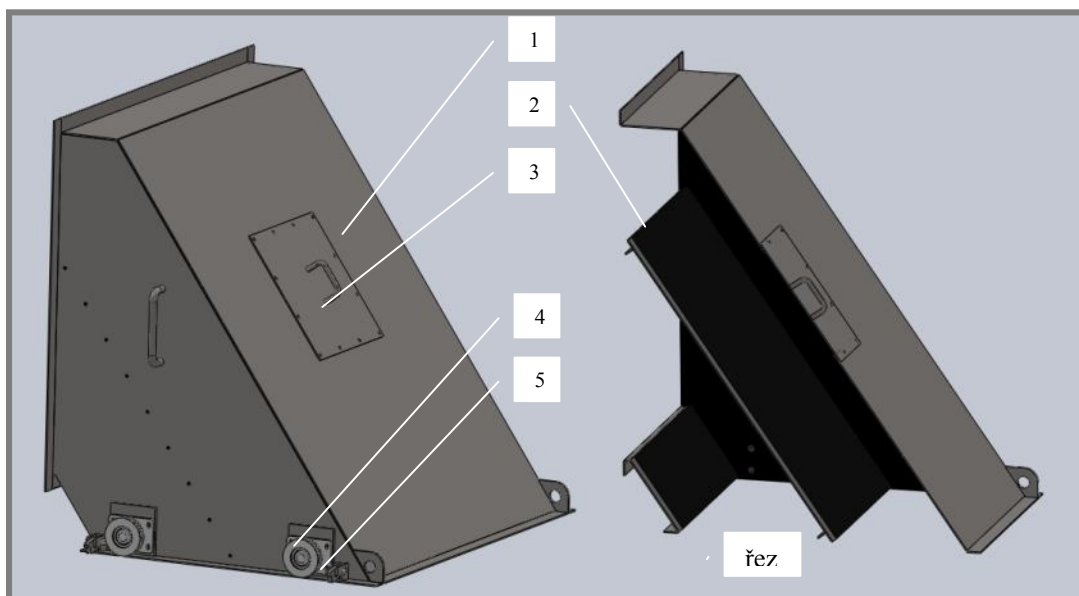
Skluzy slouží pro odvod přetříděného materiálu ze sítových ploch. Posuvný skluz (obr. 6-22, 1) odvádí materiál z prvního (nadsítná frakce) a druhého síta (mezisítná frakce). Materiál pak pokračuje do spodního skluzu (obr. 6-22, 2) a otočných rukávů (obr. 6-22, 3), ze kterých bude materiál odveden na pásový dopravník. Materiál, který projde přes druhé síto (podsítná frakce) je odveden podsítným skluzem (obr. 6-22, 4) do koryta dehydrátoru, kde bude materiál zbaven přebytečné vody. Skluzy jsou vyrobeny z běžné uhlíkové oceli, která snadno podléhá abrazi a korozi, proto jsou vnitřní stěny pokryty 20mm vrstvou gumy aby se zabránilo těmto nežádoucím účinkům. Životnost gumy byla předběžně odhadnuta na 2 roky.



Obr. 6-22 Skluzy

6.6.1 Posuvný skluz

Posuvný skluz je vyroben z 6mm plechu. Princip konstrukce je převzat ze stroje, který se již vyráběl.

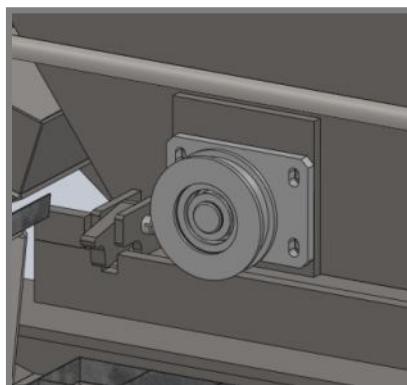


Obr. 6-23 Posuvný skluz

Jeho vnější stěny jsou svařované (obr. 6-23, 1) a vyjímatelný vnitřní skluz je šroubovaný (obr. 6-23, 2). Při použití této konstrukce je možno skluz snáze pogumovat, protože je pryž nalepena na celou boční stěnu a teprve přes tuto pryž je připevněn vnitřní skluz. Na zadní stěně skluzu je kontrolní otvor (obr. 6-23, 3). Kryt tohoto otvoru byl v prvním návrhu šroubován na stěnu skluzu. Protože by odnímání skluzu bylo příliš pracné, byl tento kryt oproti návrhu při výrobě opatřen dvěma panty a uzamykatelnou klíčkou.

Na boční stranu skluzu se pomocí čtyř šroubů M12 upevní konzola osazená hřídelí, na kterou bude nasazeno vodící kolo (obr. 6-23, 4). Pomocí tohoto kola a kolejničky navařené na rámu bude možno skluzem pohybovat v podélném směru od třídiče. Tím se odkryje síťová plocha třídiče. To usnadní opravy a výměny sít na síťových plochách a také obsluha stroje snáze dosáhne do vnitřního prostoru spodního pevného skluzu.

Pro aretaci krajní polohy je skluz opatřen západkou (obr. 6-23, 5) v přední a zadní části skluzu. Tyto západky se zasunou do výřezů v kolejničce a zajistí tak jeho krajní polohu.



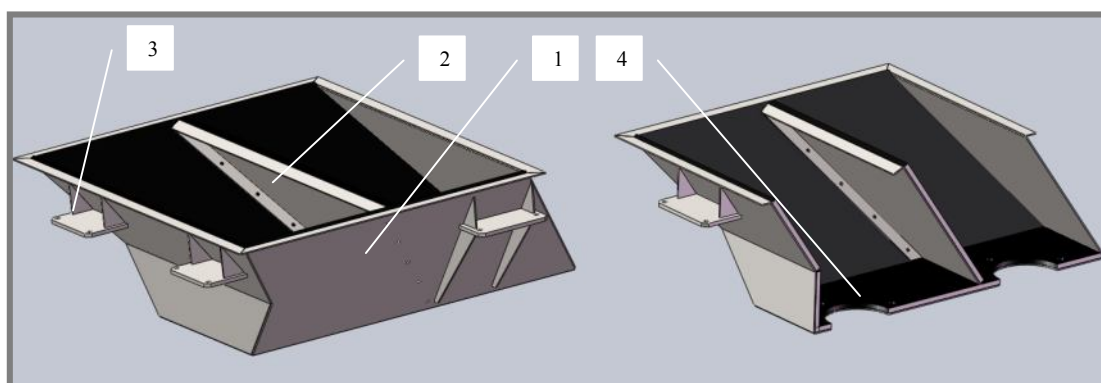
Obr. 6-24 posuvný skluz - pojezd

6.6.2 Pevný skluz

Pevný skluz (obr. 6-25, 1) je stejně jako posuvný skluz vyroben z 6mm plechu. Jeho vnitřní skluz (obr. 6-25, 2) je taktéž šroubovaný z důvodu pogumování vnitřních stěn skluzu (obr. 6-25, 4). Skluz je uchycen pomocí čtyř konzol (obr. 6-25, 3), které jsou pevně spojeny se skluzem pomocí 6mm sváru. Konzoly jsou připevněny k rámu pomocí šroubů M12.

Mezera mezi posuvným a pevným skluzem je zvolena 10mm. Podle této hodnoty je upraveno umístění uchycení skluzu k rámu.

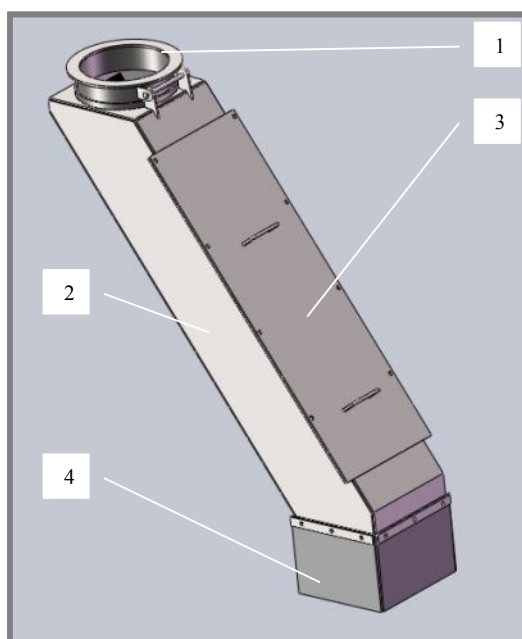
Oba z otvorů ve dně skluzu jsou navrženy na max. průtok materiálu 120t/h. Takto velký průtok je potřebný proto, aby nedocházelo k ucpávání otvorů rozměrnější kamenivem. Tento průtok pak závisí na úhlu sklonu skluzu, na materiálu, na velikosti zrn materiálu, na jeho výstupní rychlosti ze síta a v neposlední řadě na množství materiálu.



Obr. 6-25 Pevný skluz

6.6.3 Otočné skluzy

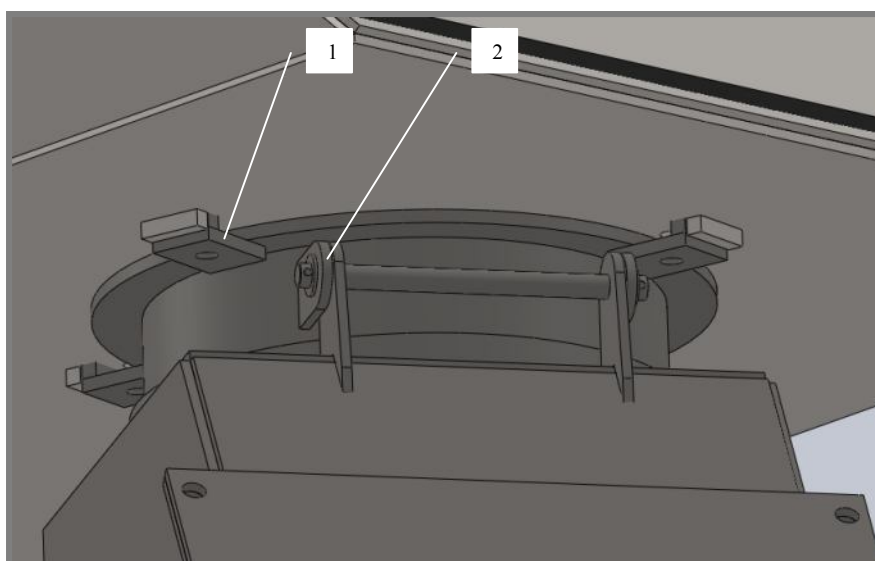
Tyto skluzy jsou vyrobeny jako svarky z 6mm plechu. Skládají se z otočné příruby (obr. 6-26, 1), těla skluzu (obr. 6-26, 2), servisního otvoru (obr. 6-26, 3) a z pryžového olemování ve spodní části skluzu (obr. 6-26, 4).



Obr. 6-26 Otočný skluz

Otočná příruba je upevněna k pevnému skluzu pomocí čtyř úchytek z ploché tyče 50x10mm (obr. 6-27, 1), kterými prochází šroub M12. K fixaci těchto úchytek slouží šroub a čtvercová tyč 10x10mm, která je přivařena k pevnému skluzu. Pokud budou šrouby povoleny lze skluzem otáčet, aniž by došlo k vytočení úchytek a pádu skluzu.

Tělo skluzu je k otočné konzole uchyceno pomocí závěsu, který se skládá ze čtyř pevných pantů a čepu (obr. 6-27, 2), který je na konci zajištěn závlačkou. Tento závěs usnadňuje manipulaci se skluzem při podsouvání pásových dopravníků pod tento skluz. Při přestavování pásových dopravníků je nutné tyto otočné skluzy rovněž nadzdvihnout, proto skluzová část není pevně zavěšena, ale umožňuje natočení.



Obr. 6-27 Upevnění otočného skluzu

Servisní otvor slouží při výrobě ke snadnému přístupu na vnitřní plochy skluzu, které budou stejně jako u ostatních skluzů pogumované a také při provozu umožňují kontrolu pryží a jejich následnou výměnu.

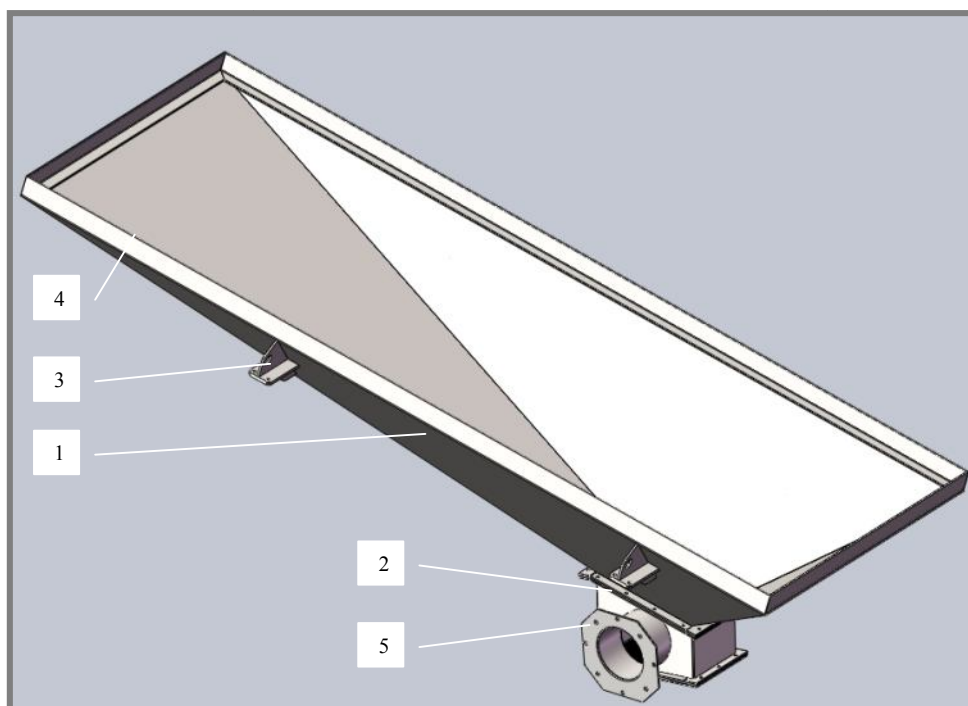
6.6.4 Skluz podsítný

6.6.4

Podsítný skluz byl vyráběn ve spolupráci s firmou, která dodávala některé další technologie do linky. Protože jeho spodní část musí navazovat na koryto dehydrátoru, který je součástí linky, musela být příruba ve spodní části skluzu navržena podle dodaného koryta.

Spodní skluz se skládá z pevné části (obr. 6-28, 1) a výměnné příruby (obr. 6-28, 2). Pevná část je přichycena k rámu pomocí čtyř konzol (obr. 6-28, 3), a osmi šroubů M16. V těchto konzolách jsou vytvořeny otvory pro manipulaci se skluzem pomocí jeřábu. Horní lem pevné části je vyztužen pomocí L-profilu (obr. 6-28, 4), který zajišťuje tuhost skluzu. Ve spodní části je vytvořena příruba pomocí ploché tyče 50x6 ve které jsou otvory pro šrouby M12. Mezi přírubu výměnné a pevné části je vloženo pryžové těsnění, které zamezuje únikům vody a nečistot.

Osmihranná příruba (obr. 6-28, 5) je stejně jako průměr výstupní trubky dána rozměrem koryta dehydrátoru, který na něj navazuje.

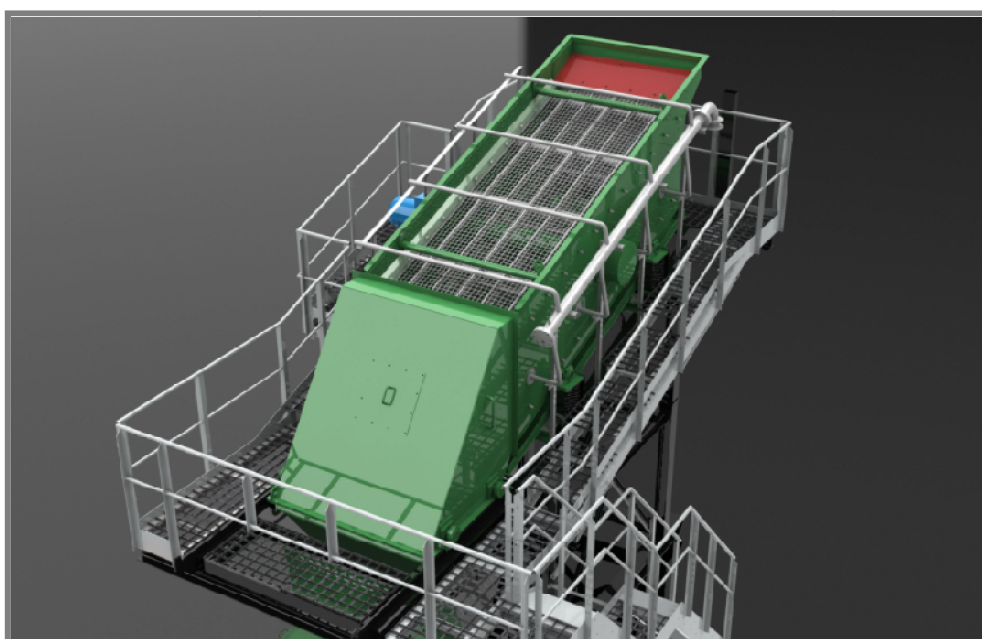


Obr. 6-28 Podsítný skluz

6.7 Pracovní plošina

Sestava pracovní plošiny je konstruována dle norem ČSN EN 14122-2 a ČSN EN 14122-3. Tato norma popisuje bezpečnost strojních zařízení konkrétně trvalé prostředky přístupu ke strojním zařízením.

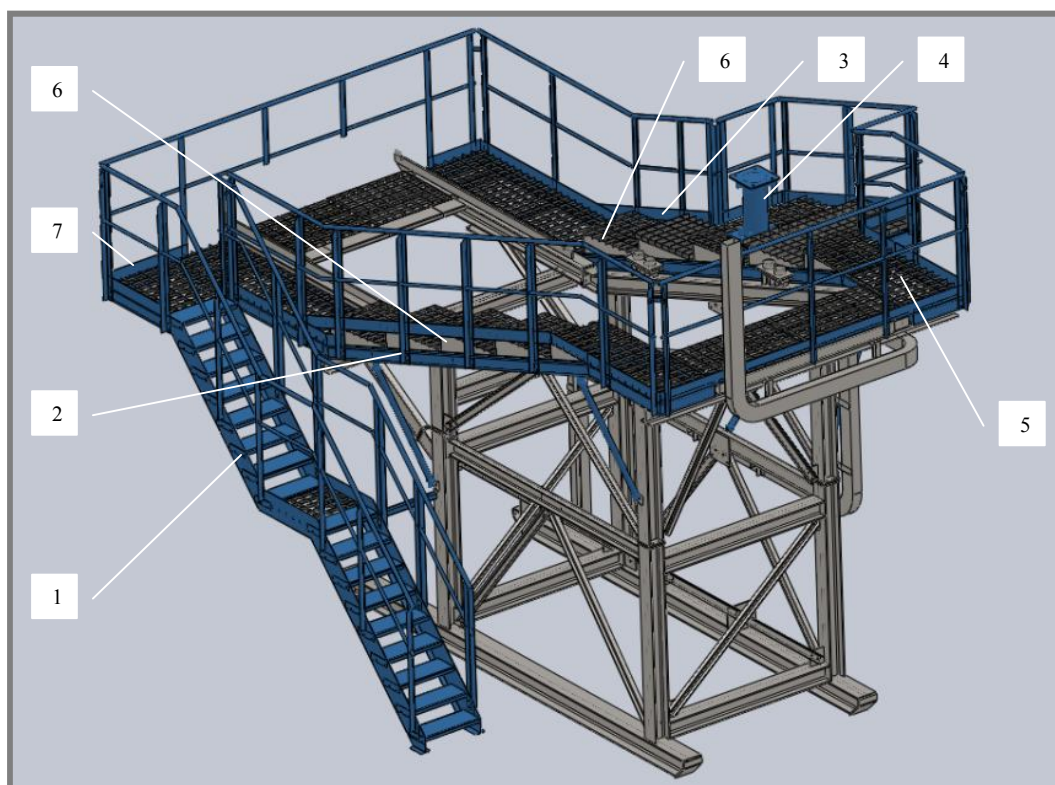
Pracovní plošina se skládá ze dvoustupňového schodiště (obr. 6-30, 1), levé strany plošiny (obr. 6-30, 2), pravé strany plošiny (obr. 6-30, 3) a zábradlí. Na pravé straně plošiny je upevněna konzola pohonu třídíče (obr. 6-30, 4), která je ukotvena k rámu pracovní plošiny.



Obr. 6-29 Sestava pracovní plošiny

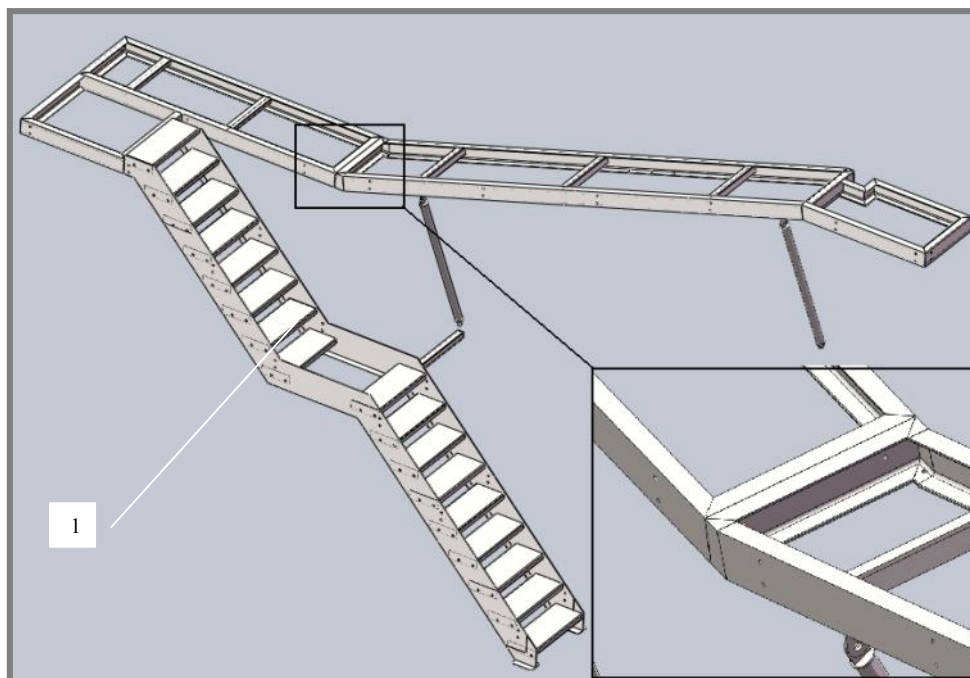
Schodiště je dle normy 600 mm široké stejně tak i celá pracovní plošina s výjimkou prostoru pohonu třídiče, kde je min. průchozí šířka 500 mm. Na jednotlivé stupně schodů jsou použity pozinkované průmyslové schodnice. Pracovní plošina je vyplněna pororošty (obr. 6-30, 5), které jsou vyrobené na zakázku přímo pro tento stroj. Schody, které se nacházejí na pravé i levé části plošiny (obr. 6-30, 6) jsou navrženy pod úhlem 5°. Tímto mírným sklonem se nikterak neohroží bezpečný pohyb po stroji, ale naopak touto úpravou ubude počet schodů a zlepší se obcházení pohonu třídiče. Jednotlivé schody jsou vyrobeny z 6 mm plechu, který je ohnut a přivařen na konstrukci rámu pracovní plošiny.

Zábradlí odpovídá dané normě a je tvořeno profilem L, který je připevněn na rám pomocí dvou šroubů M12. Horní i střední část tvoří trubky, které jsou provlečeny a obvařeny v L-profilech. Spodní část tvoří okopový plech (obr. 6-30, 7).



Obr. 6-30 Pracovní plošina

Nosná konstrukce plošiny je svařena z profilů U120 a pro snazší transport se skládá ze dvou dílů. Ty jsou pak mezi sebou spojeny dvojicí šroubů M12. Konce jsou upevněny na podpěry umístěné na rámu a na krajích jsou podepřeny vzpěrami. Ty jsou uchyceny k rámu a plošině pomocí šroubů M16. Pro větší tuhost je konstrukce vyztužena profilem L. Schody jsou navrženy ze dvou plechových bočnic, které jsou spojeny šrouby pomocí jednotlivých průmyslových schodnic (obr. 6-31, 1). V horní části jsou schody upevněny dvěma šrouby M12 k rámu plošiny.

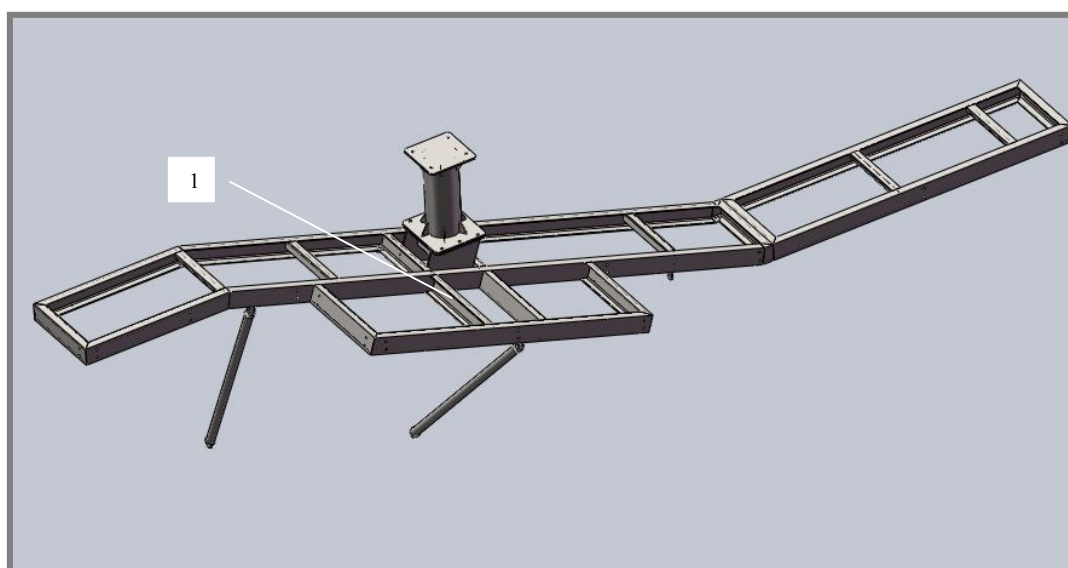


Obr. 6-31 Levá strana plošiny

Pravá polovina pracovní plošiny je složena ze stejných profilů jako levá. Stejně tak je složena z více částí. Skládá se z horního dílu plošiny, spodního dílu a podpěry pohonu.

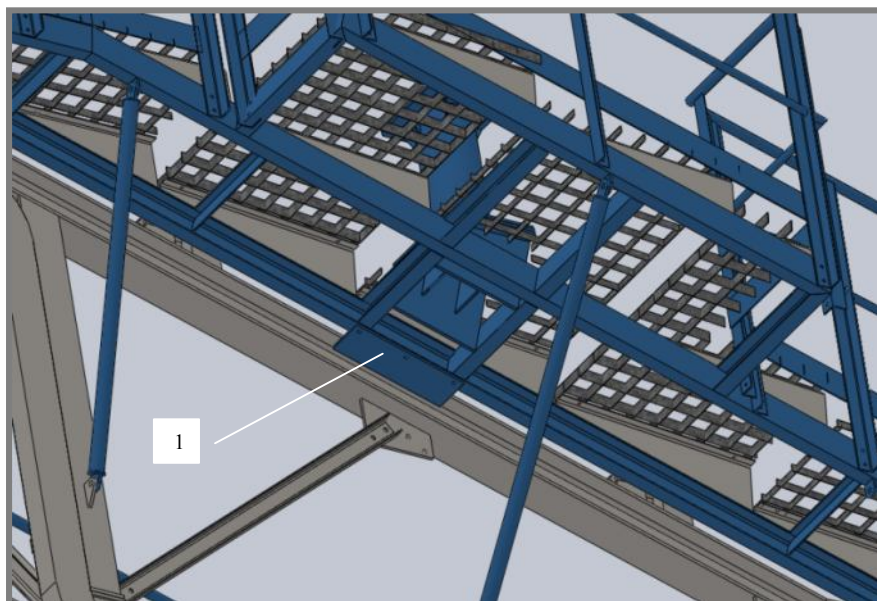
Na této části plošiny je upevněn pohon třídiče, proto byla konstrukce v tomto místě vyztužena. Pro vyztužení jsou použity znovu profily U120 (obr. 6-32, 1), které jsou vevařeny jako výztuhy do rámu plošiny. Na těchto profilech je pak přivařena nosná část konzoly pro pohon. Aby bylo zajištěno snadné a bezpečné obcházení pohonu, plošina je v tomto místě rozšířena o další část širokou 600 mm.

Stejně jako u levé části plošiny je i tato podepřena vzpěrami. Původně zde měly být vzpěry tři, ale z důvodů konfliktu přední vzpěry s korytem dehydrátoru musela být tato vzpěra odstraněna, čímž se snížila tuhost pracovní plošiny.



Obr. 6-31 Pravá strana plošiny

Proto vznikla další podpěra (obr. 6-33, 1) v místě největšího přepokládaného průhybu pracovní plošiny. Jedná se o 20 mm plech, který je přivařený na rám a s pracovní plošinou je spojen pomocí tří šroubů M16.



Obr. 6-32 Výztuha plošiny

6.8 Výroba

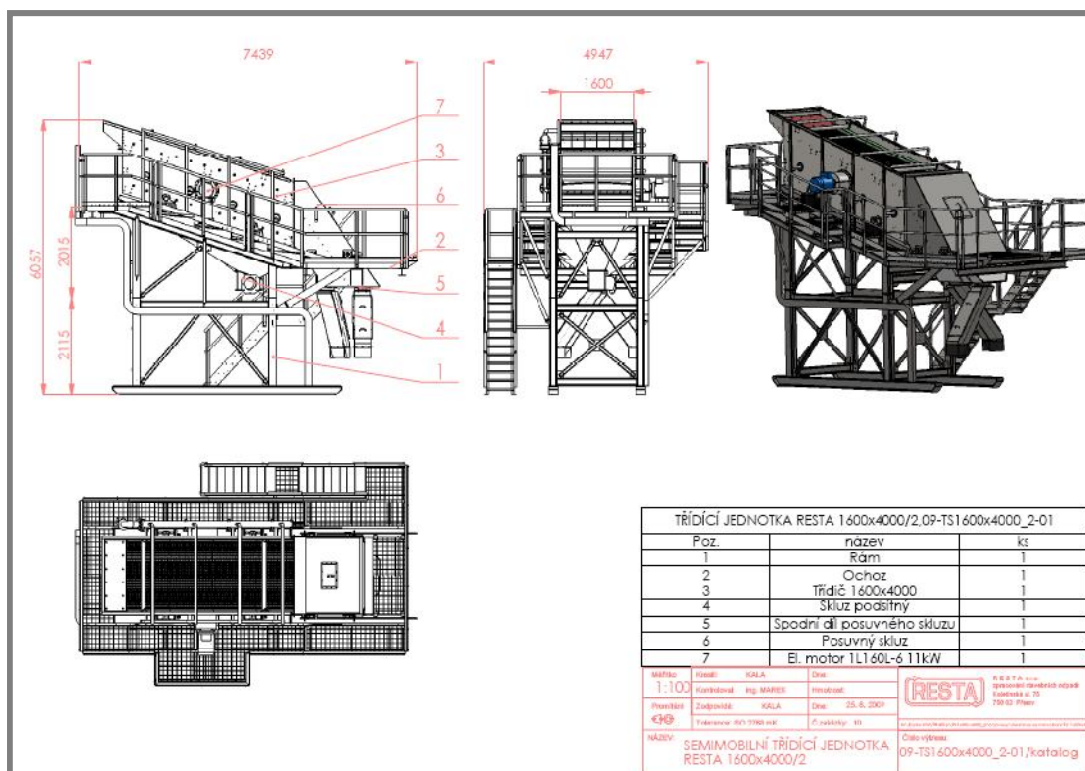
6.8

Po dokončení modelu a kontrole vedoucím konstruktérem firmy Resta byla vytvořena pouze nejnutnější výkresová dokumentace pro výrobu prototypu, která byla tvořena stejně jako model v programu SolidWorks. Po dokončení výkresové dokumentace, byly výkresy předány programátorům CNC strojů a vedoucímu dílny.

6.8.1 Výkresová dokumentace

6.8.1

Hlavní sestava semimobilního třídíče se skládala ze sedmi podsestav. První z nich byla sestava rámu, pracovní plošiny (ochozu), sestava třídíče, skluzu podsítného, spodního skluzu posuvného skluzu a elektromotoru. Tyto hlavní sestavy se dále skládaly z dalších dílčích podsestav. S těchto podsestav a dílů byla vytvořena během 21 dnů výkresová dokumentace, kterou tvořilo 95 výkresů.



Obr. 6-34 Výkres sestavy

6.8.2 Výroba stroje

Díly rámu, třidič a jednotlivé skluzy se vyráběly současně a průběžně se kontrolovala jejich návaznost, aby bylo možno jednotlivé části snadno sestavit. Pracovní plošina byla stejně jako zábradlí vyrobena po dokončení výroby hlavních částí rámu.

Většina plechových dílů včetně konstrukce rámu byly navrženy jako svarky, které byly svařeny technologií sváření MAG.

Vzhledem k tomu, že firma používá tmavý odstín zelené, jako firemní barvu, byl použit tmavě zelený dvousložkový polyuretanový lak jako ochrana ocelových dílů proti kozy.

Samotná výroba stroje trvala 38 pracovních dní a pracovalo na něm 19 výrobních dělníků.



Obr. 6-35 Výroba semimobilního třídíče

Kontrola jednotlivých dílů

Před nanesením vrstvy laku, byl stroj sestaven a jednotlivé jeho díly byly na sebe sesazeny. Pokud by se objevily nějaké nepřesnosti nebo rozměrové nesrovnalosti je v tomto případě možné je odstranit aniž by se musel složitě opravovat lak.

Mezery mezi jednotlivými díly byly proměřeny a většina z nich splňovala předepsaný rozměr. Pouze vzdálenost mezi posuvným skluzem a horní hranou třídíče byla nedostatečná. To bylo způsobeno tím, že při vytváření modelu byl použit model pružin, které byly modelovány na maximální zatížení třídíče. Tento model byl použit při navrhování navazujících skluzů, aby do nich třídíč při provozu nenarážel. Pokud ale byl třídíč prázdný, výška pružin byla o cca 30 mm větší a při doběhu třídíč narážel do posuvného skluzu.

Aby nedocházelo ke kontaktu mezi těmito díly, byla vyřezána část přední hrany třídíče.



Obr. 6-36 Návaznosti dílů

6.8.3 Měření odpružení třídíče

Při prvním zkušebním spuštění stroje se nepodařilo třídíč sfázovat spolu s budičem vibrací. To znamená, že třídíč nebyl ve stejné fázi s otáčkami budiče a výsledná charakteristika buzení nebyla kruhová a výkmit nebyl stanovených 8 mm. Charakteristika buzení byla v tomto případě náhodná a výkmit byl několika násobně vyšší.

Protože třídíč ještě nebyl osazen sítý, byl o 200 kg lehčí. Proto byl dodatečně zatížen železnými profily, které simulovaly hmotnost od sítových ploch.

Při dalším spuštění se podařil třídíč sfázovat, ale výsledná amplituda i chování třídíče nebylo zcela v pořádku. Při chodu třídíče se navíc vibrace přenášely ve velké míře do konstrukce stroje. Proto bylo nutné analyzovat možné příčiny problému.

Jednou z možných variant byla již dříve zmiňovaná tuhost pružin (viz kap. 6.3 Uložení třídíče). V předchozích výpočtech pružin, nebyly zahrnuty dynamické děje v soustavě. Prvním řešením počítalo uložení třídíče v rezonanční oblasti. Druhé řešení počítalo pouze se statickou silou a zvolenou deformací pružin, která pak byla hlavním faktorem výsledné tuhosti. Proto byl vytvořen výpočet zohledňující dynamické děje v soustavě.

Byl sestaven výpočet, který vychází z dynamické rovnice pro buzení nevývahou, která zahrnuje budící síly, útlum, otáčky a další faktory ovlivňující výslednou tuhost pružin.

Základní rovnice pro buzení nevývahou:

$$\frac{u_0}{u_{st}} = \frac{\eta^2}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + (2\delta\eta)^2}} \quad (6.21)$$

Kde:

Amplituda ustálených vynucených kmitů u_{st} je rovna podílu odstředivé síly a hmotností třídíče $m_t = 2300$ kg.

Hmotností nevývažků $m_n = 200 \text{ kg}$ a jejich excentricity $e_x = 0,05 \text{ m}$.

$$u_{st} = \frac{m_n e_x}{m_t} = \frac{200 \text{ kg} \cdot 0,05 \text{ m}}{2300 \text{ kg}} = 4,348 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (6.22)$$

Samotný činitel naladění je roven podílu úhlové rychlosti $\omega = 2\pi f$, kdy $f = 16$ a vlastním úhlovým netlumeným kmitům Ω_0 .

$$\eta = \frac{\omega}{\Omega_0} = \frac{100,53 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}}{5,586 \text{ Hz}} = 18 \text{ rad} \quad (6.23)$$

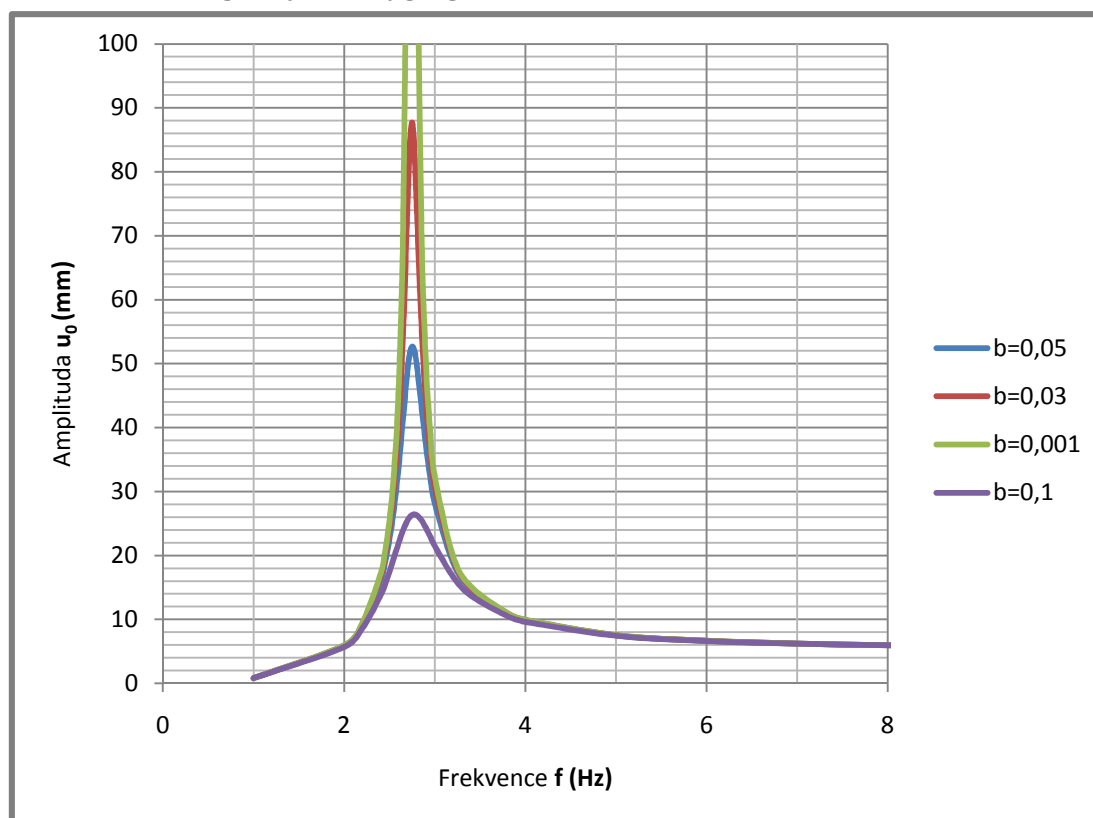
Vlastní frekvence je pak dána druhou odmocninou podílu celkové tuhosti pružin k a součtem hmotností třídiče a nevývažků. Protože použité pružiny nepracovaly zcela správně, zvolil jsem pro výpočet dvě tuhosti. Stávající tuhost 98 N/mm a nové měkké pružiny s tuhostí 78 N/mm .

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m_t + m_n}} = \sqrt{\frac{78 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}}{200 \text{ kg} + 2300 \text{ kg}}} = 5,586 \text{ Hz} \quad (6.24)$$

Součinitel dozívání δ je roven podílu tlumení b a dvojnásobné hmotnosti celého systému. Protože jsem neměl prostředky ke změření tlumení soustavy, zvolil jsem, že dozívání bude rovno 5%.

$$\delta = \frac{b}{2m} = 0,05 \quad (6.25)$$

Graf. 1 Velikost amplitudy soustavy pro pružinu s tuhostí 78N/mm

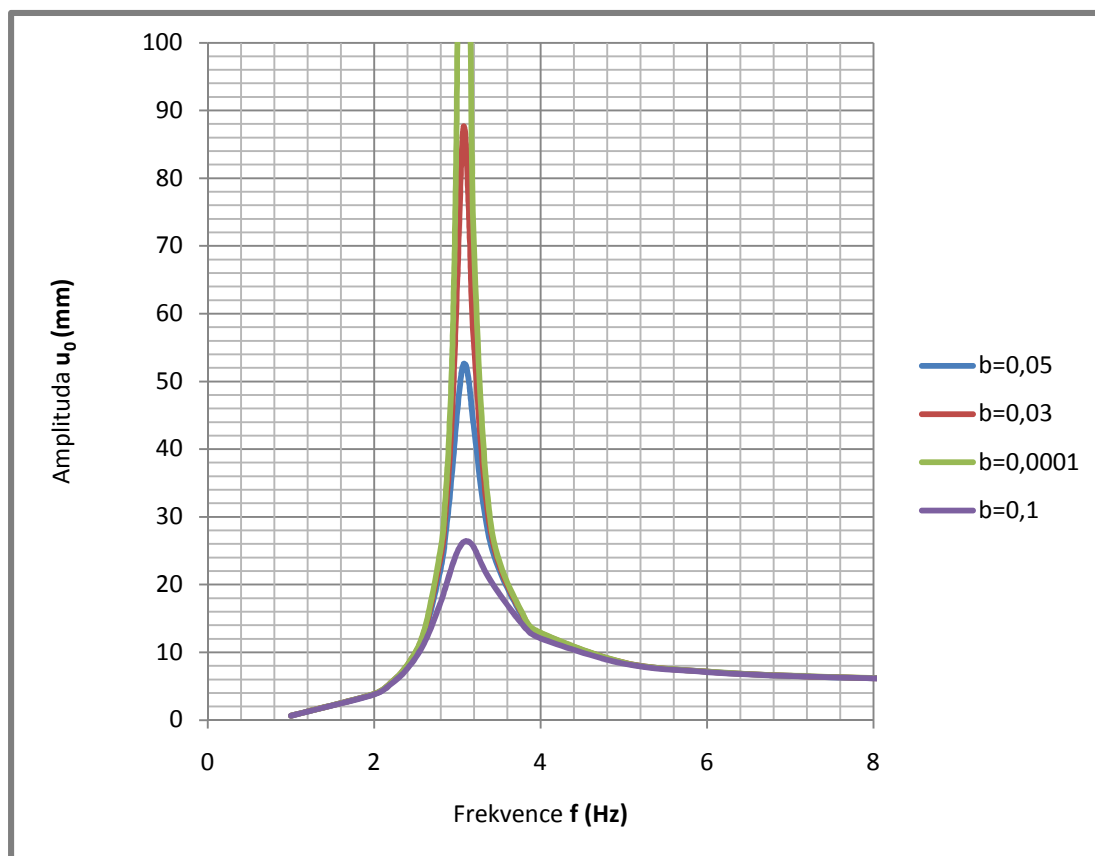


Jak je vidět z grafu tlumení má v případě pružin s tuhostí $k = 78 \text{ N/mm}$ jen nepatrný vliv na výslednou provozní velikost amplitudy. Třidič má provozní frekvenci 16 Hz což odpovídá úhlové rychlosti $\omega = 100,53 \text{ rad/s}$. Při těchto otáčkách jsou jednotlivé křivky buzení takřka shodné. Výrazný nárůst amplitudy je v oblastech mezi 2 až 4 Hz. V tomto rozsahu otáček se nachází vlastní frekvence soustavy ($\Omega = 2,75 \text{ Hz} \Rightarrow \omega = 17,27 \text{ rad/s}$), přes kterou třídič přechází při svém rozběhu či doběhu. Tyto oblasti nejsou pro samotný třídič nikterak nebezpečné, protože doba přechodu přes vlastní frekvenci se pohybuje v řádech desetin sekund.

Pokud použijeme pro výpočet tuhost $k = 98 \text{ N/mm}$ výsledné křivky buzení, pro různé hodnoty tlumení, budou mít velice podobný charakter. Jak je vidět z grafu vlastní frekvence se posunula nepatrně doprava na hodnotu $\Omega = 3,075 \text{ Hz}$ což odpovídá $\omega = 19,31 \text{ rad/s}$.

Součinitel dozínání jsem zvolil $\delta = 5\%$ (v grafu označení b), protože hodnota vypočtené amplitudy byla 52 mm, což přibližně odpovídalo hodnotě při prvním spuštění stroje s těmito pružinami.

Graf. 2 Velikost amplitudy soustavy pro pružinu s tuhostí 98N/mm



Pokud veličiny dosadíme, do základní rovnice (6.21) obdržíme výslednou velikost provozní amplitudy (6.26).

$$u_0 = \frac{\eta^2 u_{st}}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + (2\delta\eta)^2}} = \frac{18^2 \cdot 4,348 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{(1-18^2)^2 + (2 \cdot 0,05 \cdot 18)^2}} \quad (6.26)$$

Pro $k = 98 \text{ N/mm}$:

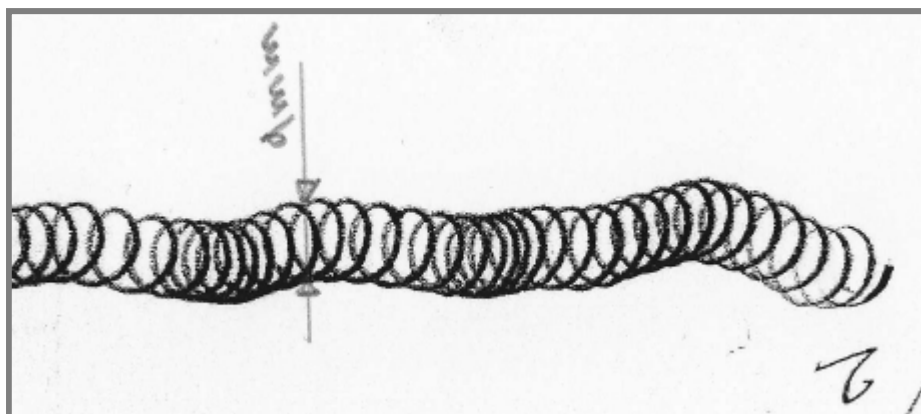
$$u_0 = 4,486 \text{ mm}$$

Pro $k = 78 \text{ N/mm}$:

$$u_0 = 4,447 \text{ mm}$$

Výsledné rozdíly mezi amplitudami jsou nepatrné, ale chování třídiče při použití pružin s tuhostí $k = 78 \text{ N/mm}$ je znatelné. Zmírní se přenos vibrací do konstrukce rámu a výsledné buzení je kruhové s výkmitem 9mm. Při použití měkčích pružin došlo k jejich větší statické deformaci a nárůstu napětí v pružinovém drátu. Napětí v pružině dosahovalo hodnot $\tau_{\max} = 225 \text{ MPa}$, přičemž mez kluzu materiálu pružin je $Re = 900 \text{ MPa}$.

Použity proto jsou pružiny s tuhostí $k = 78 \text{ N/mm}$. Při použití těchto pružin třídič vykazoval stabilní kruhové buzení a minimální přenos vibrací do konstrukce rámu. Nevýhodou je nárůst napětí v pružině, ale jeho hodnota nepřesahuje ani se výrazně nepřibližuje mezi kluzu.



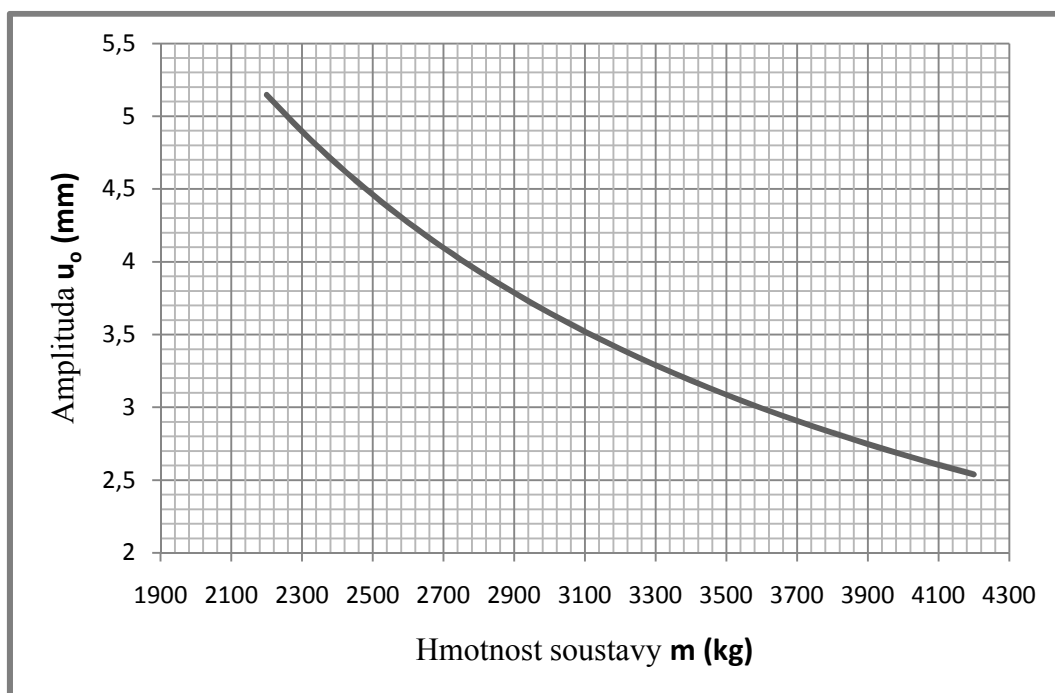
Obr. 6-37 Výsledný pohyb soustavy

Vzhledem k tomu, že firma v době měření nevlastnila funkční snímač vibrací. Byl použit jednoduchý experiment pro zjištění tvaru a velikosti amplitudy.

Na obr. 6-37 je vykreslena část kruhového buzení naměřeného na stěně třídiče. Jednoduché měření se provádělo pomocí magnetického stojánku, který se umístil na stěnu třídiče, na kterém byla upevněna tužka. Po spuštění stroje byl k hrotu tužky přiložen čistý list papíru, který byl upevněn na pevné podložce. Poté se podložka posouvala ve vodorovném směru a hrot vykresloval průběh vibrací.

Potřebná amplituda pro třídění je 3-4 mm. Současná amplituda u prázdného třídiče má velikost 4,5 mm. Ta začne při zatěžování třídiče materiálem klesat.

Graf. 3 Závislost velikosti amplitudy na celkové hmotnosti soustavy

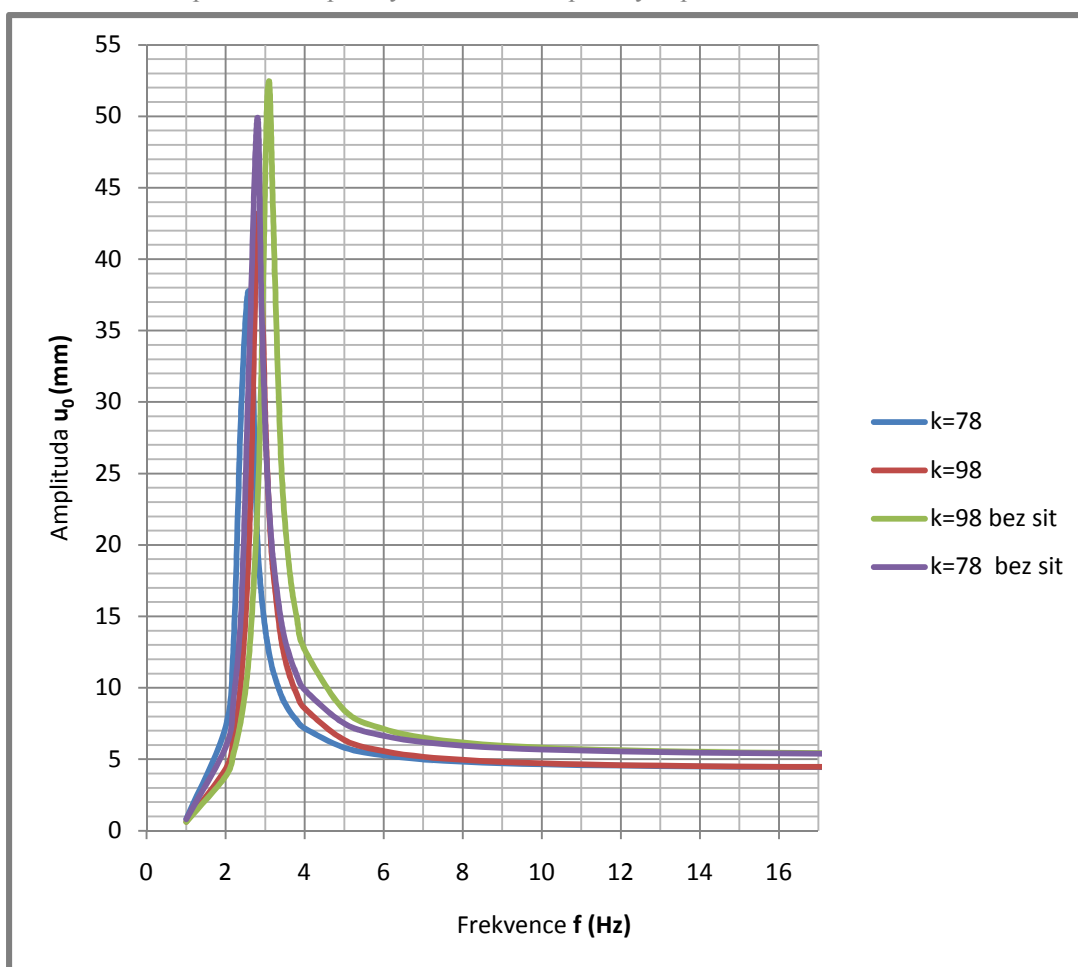


Prázdný třídič váží 2500 kg. Jak je vidět z grafu to odpovídá amplitudě 4,5. Tento graf vychází z předchozího výpočtu a pro tuhost pružin $k = 78 \text{ N/mm}$. Pokud bude třídič v provozu plně zatížen, jeho hmotnost se bude pohybovat kolem 3500 kg, což

odpovídá amplitudě 3,1 mm. Pokud by došlo k zasypání drtiče může být třídič chvilkově zatížen až na hmotnost 4100 kg. V této chvíli je amplituda rovna jen 2,6 mm což způsobuje zhoršení kvality třídění.

Závěrečný výpočet je vytvořen pro čtyři provozní stavy třídiče. První je stav, při kterém se provádělo první měření. Třídič byl uložen na pružinách s tuhostí 98 N/mm a nebyl osazen sítovou plochou. Druhý stav je se stejnými pružinami a sítovou plochou. Další stavy jsou s pružinami s tuhostí 78 N/mm. Stejně jako v předešlém případě se počítá první stav bez sítové plochy a stav se sítovou plochou.

Graf. 4 Velikost provozní amplitudy v závislosti na použitých pružinách



Z výpočtů bylo zjištěno, že se výsledky v provozní oblasti $f = 16$ Hz pro stejné stavy (se sítou a bez sít) liší jen nepatrně. Křivky pro tyto stavy takřka splynuly. Pouze v oblasti vlastní frekvence soustavy se výrazně změnila výsledná velikost amplitudy. Pro tuhost pružiny 98 N/mm je výsledná velikost amplitudy $u_0 = 45$ mm. Tato hodnota odpovídala stavu, kdy je třídič osazen sítovou plochou. Pokud byl třídič bez sítové plochy, je amplituda rovna $u_0 = 53$ mm. Pro tuhost pružiny 78 N/mm je velikost amplitudy $u_0 = 38$ mm pro třídič osazený sítou a $u_0 = 50$ mm bez sít.

S tohoto vyplývá, že výměnou pružin je změna velikosti amplitudy při provozní frekvenci zanedbatelná. Výrazně se však mění v oblasti vlastní frekvence. Při použití měkčích pružin se velikost amplitudy výrazně sníží (z 45 mm na 38 mm).

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit model semimobilní třídící jednotky, provést kontrolní výpočty vybraných součástí a vytvořit výkresovou dokumentaci pro výrobu prototypu. Dle mého názoru bylo všech zadaných cílů dosaženo. Podařilo se mi shromáždit potřebné informace z již vyráběných strojů a ty pak aplikovat na koncepční model. Z tohoto modelu jsem vytvořil výrobitelný a funkční 3D virtuální model semimobilní třídící jednotky TS16x40_2. Následně jsem vytvořil z tohoto modelu výkresovou dokumentaci, podle které byl prototyp stroje vyroben a odzkoušen. Dále jsem dohlížel na výrobu celého stroje a realizoval jsem nutné konstrukční změny. Bylo nutné provést drobné úpravy skluzů, tak aby byly respektovány požadavky výrobce a provést kontrolní měření třídiče.

Při prvním testovacím spuštění prototypu stroje se vyskytl problém s uložením třídiče, které mělo velkou tuhost a třídič nepracoval zcela správně. Již při návrhu jsem upozorňoval, že dle mých výpočtů mají pružiny velkou tuhost, což se tedy potvrdilo. Proto jsem provedl nový výpočet, kterým bylo zjištěno, že použité pružiny jsou tužší než pružiny potřebné pro klidný a správný chod třídiče. Tuhé pružiny byly nahrazeny měkčími pružinami, které vykazovaly klidnější chod třídiče při stejné velikosti amplitudy kmitání, která v tomto případě byla 4,5 mm.

Stroj se podařilo úspěšně vyrobit, odzkoušet a odladit tak, že ho dnes firma nabízí v mnoha variantách ve svém portfoliu. Na samotném vývoji těchto strojů jsem pracoval od listopadu 2008, kdy jsem začal spolupracovat s konstrukční kanceláří této firmy. Na samotném stroji jsem pracoval více jak 8 měsíců a odpracoval jsem více jak 800 hodin. Pro konstrukci tohoto stroje jsem využíval svých předchozích zkušeností v této firmě, kde jsem brigádně pracoval 6 let jako zámečnický a podílel se na výrobě předchozích strojů.

Při vyvíjení toho stroje jsem získal spoustu cenných znalostí a zkušeností, které mi pomohou při mé další práci.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] POLICKÝ, Zdeněk . *Úpravářské stroje*. vyd. 1. Brno : Ediční středisko VUT Brno, 1987. 242 s.
- [2] POLUS, Emil. *Úpravářské stroje I : Drtiče a mechanické třídiče pro průmysl, výrobu maltovin a lehčených stavebních hmot*. vid. 1. Praha : SNTL, 1970. 260 s.
- [3] *Eurositex.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-05-10]. Průmyslová síta. Dostupné z WWW: <<http://www.eurositex.cz/cz/produkty/prumyslova-sita.php>>.
- [4] *Kool.cz* [online]. 2007 [cit. 2010-05-10]. Kool Trading, spol. s.r.o. Dostupné z WWW: <<http://www.kool.cz/cz/reference.html>>.
- [5] *Dsprrerov.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-05-10]. Stroje a zařízení pro zpracování nerostných surovin. Dostupné z WWW: <<http://www.dspprerov.cz/nase-vyrobky/tridice/vibracni-tridice-vtk.html>>.
- [6] *Crushercn.wordpress.com* [online]. December 4, 2008 [cit. 2010-05-10]. The best stone processing solution. Dostupné z WWW: <<http://crushercn.wordpress.com/tag/working-principle/>>.
- [7] *Tema.co.uk* [online]. 2008 [cit. 2010-05-10]. TEMA Machinery Limited. Dostupné z WWW: <<http://www.tema.co.uk/products/cat3/screening-machines>>.
- [8] *Metso.com* [online]. 2010 [cit. 2010-05-10]. Solutions to screening. Dostupné z WWW: <http://www.metso.com/miningandconstruction/mm_scre.nsf/WebWID/WTB-041129-2256F-825BD?OpenDocument>.
- [9] *Pujcovna-ostrava.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-05-10]. Půjčovna pásových dopravníků. Dostupné z WWW: <<http://www.pujcovna-ostrava.cz/obrazky/vibrator.jpg>>.
- [10] *Webac-vibro.com* [online]. 2010 [cit. 2010-05-10]. Průmyslové vibromotory. Dostupné z WWW: <<http://www.webac-vibro.com/index.php?menu=elektricke-vibromotory-vv>>.
- [11] *Haverboecker.de* [online]. 2009 [cit. 2010-05-10]. Haver and Boecker. Dostupné z WWW: <<http://www.haverboecker.de/typo3temp/pics/0b600ced0c.jpg>>. <<http://crushercn.wordpress.com/tag/working-principle/>>

- [12] KRATOCHVÍL, Ctirad; SLAVÍK, Jaromír. *Mechanika těles : Dynamika*. vyd.2. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno, 2002. 227 s. ISBN 80-214-2260-2.
- [13] *Resta.cz* [online]. 2000 [cit. 2010-05-19]. O nás. Dostupné z WWW: <<http://www.resta.cz/cs/about.html>>.
- [14] ČSN 41 1523. *Materiálové listy : ocel 11523*. Praha : Český normalizační institut, 1.4.1994. 20 s
- [15] *Vingu.cz* [online]. 2005 [cit. 2010-05-24]. Návod na ocelová lana. Dostupné z WWW: <http://www.vingu.cz/documents/navod_na_ocel_lana.pdf>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

M_k [N.m]	- krouticí moment elektromotoru
P [W]	- výkon elektromotoru
ω [rad.s ⁻¹]	- úhlová rychlost
f [Hz]	- frekvence
F [N]	- síla vyvozená krouticím momentem
p [Pa]	- tlak na plochu pera
p_p [Pa]	- dovolené napětí pro otlacení pera
S [m ²]	- činná plocha pera
l_c [m]	- činná délka pera
t_l [m]	- činná tloušťka pera
F_p [N]	- síla pružiny
r_p [N]	- stlačení pružiny
m [kg]	- celková hmotnost třídiče
v [m.s ⁻¹]	- obvodová rychlost
r [m]	- poloměr
n_v [s ⁻¹]	- otáčky v rezonanci
T_v [s]	- perioda v rezonanci
K [N.m ⁻¹]	- celková tuhost soustavy
n [s ⁻¹]	- otáčky
T [s]	- perioda
y_{st} [m]	- statické stlačení pružiny
y_{max} [m]	- maximální stlačení pružiny
y_g [m]	- maximální přípustné stlačení pružiny
F_{st} [N]	- statická síla deformující pružinu
g [m.s ⁻²]	- gravitační zrychlení
z	- počet pružin
F_g [N]	- maximální vyvození síla
τ_{max} [MPa]	- maximální napětí v krutu
σ_{max} [MPa]	- maximální napětí
σ_{red} [MPa]	- redukované napětí
R_e [MPa]	- mez kluzu
K_s	- smykový korekční faktor
D [m]	- střední průměr pružiny
d [m]	- průměr drátu pružiny
F_d [N]	- deformační síla
u_0 [m]	- amplituda vynucených kmitů
u_{st} [m]	- amplituda ustálených vynucených kmitů
η [rad]	- součinitel naladění
b [N.m ⁻¹ .s]	- tlumení soustavy
δ [s ⁻¹]	- součinitel dozívání
Ω_0 [Hz]	- vlastní úhlová frekvence netlumených kmitů
N_a [N]	- složka odstředivé síly
e_x [m]	- excentricita těžiště nevývažků
m_t [kg]	- hmotnost třídiče
m_n [kg]	- hmotnost nevývažků

CNC -Computer Numerical Controlled

MKP - Metoda Konečných Prvků

FFEPlus -Fast 3D Finite Element solver

3.2 Seznam obrázků

Obr. 1-1 Princip funkce třídiče	16
Obr. 1-2 Třídění pohyblivým roštem a rotací [1]	17
Obr. 1-3 Třídění vrhem roštem a plošným pohybem [1]	17
Obr. 1-4 Tvary roštnic [1]	18
Obr. 1-5 Tvary otvorů [1]	18
Obr. 1-6 Drátěná síta [1]	19
Obr. 1-7 Drátěná síta [1]	19
Obr. 1-8 Drátěná síta [1]	20
Obr. 1-9 Clip-Tec [3]	20
Obr. 1-10 Clip-Clean [3]	20
Obr. 1-11 Semimobilní třídič firmy KOOL Trading [4]	21
Obr. 1-12 Semimobilní třídič firmy DSP Přerov [5]	22
Obr. 1-13 Třídič firmy Zenith (Čína) [6]	22
Obr. 1-14 Třídič firmy Tema machineri [7]	23
Obr. 1-15 Budič vibrací firmy Metso [8]	24
Obr. 1-16 Vibrační jednotka [9]	25
Obr. 5-1 Koncept semimobilního třídiče	31
Obr. 5-2 Třídič se skrápěním firmy Haver & Boecker [11]	32
Obr. 5-3 Koncept rámu	33
Obr. 5-4 Pevné skluzy	33
Obr. 5-5 Posuvný skluz	34
Obr. 5-6 Podsítný skluz	35
Obr. 5-6 Koncept semimobilního třídiče	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 6 Semimobilní třídič	36
Obr. 6-1 Třídič 16x40	37
Obr. 6-2 Třídič 16x40-ŘEZ	38
Obr. 6-3 Příčné napínání síta [3]	38
Obr. 6-4 Sítová plocha	39
Obr. 6-5 Napínací deska	39
Obr. 6-6 Vazací konzoly	40
Obr. 6-7 Budič vibrací	41
Obr. 6-8 Modální analýza	43
Obr. 6-9 Uložení třídiče	44
Obr. 6-10 Zjednodušené schéma třídiče [1]	45
Obr. 6-11 Deformace pružiny [1]	47
Obr. 6-12 Stlačení pružiny	48
Obr. 6-13 Napětí v pružině	49
Obr. 6-14 Sestava rámu	50
Obr. 6-15 Spodní díl rámu	51
Obr. 6-16 Horní díl rámu	52
Obr. 6-17 Podpěra skluzu	53
Obr. 6-18 Vlastnosti materiálu a sítě	54
Obr. 6-19 Konečnoprvková síť použitá pro pevnostní analýzu	55
Obr. 6-20 Rozložení napětí v rámu	56
Obr. 6-21 Rozložení napětí v přední vzpěře	57
Obr. 6-22 Skluzy	58

Obr. 6-23	Posuvný skluz	59
Obr. 6-24	posuvný skluz - pojezd	59
Obr. 6-25	Pevný skluz	60
Obr. 6-26	Otočný skluz	60
Obr. 6-27	Upevnění otočného skluzu	61
Obr. 6-28	Podsítný skluz	62
Obr. 6-29	Sestava pracovní plošiny	62
Obr. 6-30	Pracovní plošina	63
Obr. 6-31	Levá strana plošiny	64
Obr. 6-31	Pravá strana plošiny	64
Obr. 6-32	Výztuha plošiny	65
Obr. 6-34	Výkres sestavy	66
Obr. 6-35	Výroba semimobilního třídiče	67
Obr. 6-36	Návaznosti dílů	68
Obr. 6-37	Výsledný pohyb soustavy	72

3.3 Seznam tabulek a grafů

Tab. 1	Druhy frakcí	14
Tab. 2	Vlastních frekvencí	43
Graf. 1	Velikost amplitudy soustavy pro pružinu s tuhostí 78N/mm	70
Graf. 2	Velikost amplitudy soustavy pro pružinu s tuhostí 98N/mm	71
Graf. 3	Závislost velikosti amplitudy na celkové hmotnosti soustavy	72
Graf. 4	Velikost provozní amplitudy v závislosti na použitých pružinách	73

SEZNAM PŘÍLOH

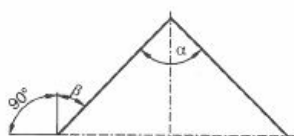
- Příloha 1- Ocelová vázací lana
- Příloha 2- Modální analýza 9,4 Hz
- Příloha 3- Modální analýza 10,9 Hz
- Příloha 4- Výroba skříně třídiče
- Příloha 5- Sestavení semimobilního třídiče
- Příloha 6- Zástavba do linky



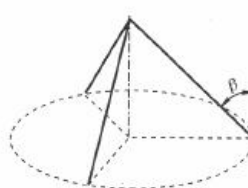
OCELOVÁ VÁZACÍ LANA

- Vazák se zhotovuje z ocelových lan nemazaných s nemazanou nekovovou nebo kovovou duší, holých nebo pozinkovaných. Přednostně se k výrobě vazáků používají lana podle ČSN 02 4322 a ČSN 02 4324 s vinutím protisměrným pravým vyrobená z drátů s jmenovitou pevností v tahu 1570 a 1770 MPa.
- Vazák s nalisovanými objímkami musí odpovídat ČSN 02 4481. Minimální vzdálenost mezi vnitřními okraji objímek musí být desetinásobkem jmenovitého průměru lana. Vazací lana s nalisovanými objímkami nesmějí být používána v prostředí, kde jsou bezprostředně vystavena sálavému teplu nebo dotyku s předměty s povrchovou teplotou větší než 60° C.
- Vazák se zapletenými oky musí odpovídat ČSN 02 4468. Minimální vzdálenost mezi konci zápleť musí být desetinásobkem jmenovitého průměru lana. Vazací lana se zapletenými oky nesmějí být používána v prostředí, kde jsou bezprostředně vystavena sálavému teplu nebo dotyku s předměty s povrchovou teplotou větší než 200° C.
- Jednoprarmenný vazák musí být jedním z typů znázorněných na obrázku. Je-li použito koncového příslušenství, doporučuje se, aby oko bylo vybaveno očníci.
- Víceprarmenné vazáky se skládají ze dvou, tří nebo čtyř jednoprarmenných vazáků, které jsou na svých horních koncích spojeny závěsným okem. U čtyřprarmenných vazáků musí být každý ze dvou párů pramenů připojen k hlavnímu závěsnému oku přechodným článkem.
- Jmenovitá délka jednoprarmenného vazáku /je délka mezi závěsnými body koncovek, ať jsou to měkká oka, očníce, závěsná oka, háky, třmeny či články. Délka se měří bez zátěže. Tolerance délky nesmí přesáhnout větší z hodnot danou / 0,5% požadované délky. U víceprarmenných vazáků nesmí rozdíl v délce jednotlivých pramenů přesáhnout větší z hodnot / dvojnásobek průměru lana nebo / 0,5% požadované délky.
- Vazák je možno použít tehdy, pokud břemeno svým tvarem a tuhostí, jakož i teplota pracovního prostředí umožňuje bezpečné uvázání. Vazáky jsou vhodné pro vázání těžších břemen zaobleného tvaru. Nemají se ohýbat přes hrany s poloměrem zaoblání menším než je 2,5 – násobek průměru lana; v žádném případě však poloměr zaoblání nesmí být menší než je průměr lana. Oka mohou být namáhána pouze tahem. Břemeno se doporučuje zavěšovat nejméně na dvou nosných průřezech lana, aby se zabránilo rozkrucování lana. Vazák má být ve všech svých částech rovnoměrně zatížen; těžiště má být před uvázáním pod osou závěsu.
- Nosnost vazáku WLL (working load limit) je definována jako maximální hmotnost břemena, kterou je vazák schopen zvednout, spustit nebo udržet zavěšenou; vypočítává se z jmenovité nosnosti lana a součinitele bezpečnosti:

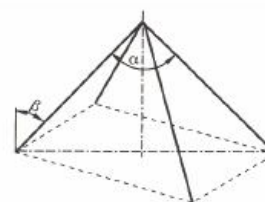
$$WLL = (F_0 \cdot K_e) / (K_m \cdot K_u)$$
- Běžné používané způsoby vázání, nosnosti WLL a nosnosti v závislosti na způsobu vázání a úhlu jejich rozevření jsou uvedeny v tabulkách.
- Vázání vazáků na smyčku se nedoporučuje z důvodů možnosti rázů při zatahování smyčky a zvýšeného namáhání na otláčení a ohyb; i přesto je přípustné. Je-li vazací lano vybaveno očníci nebo je takové vázání jednorázové, snižuje se nosnost na 80% hodnoty WLL. V ostatních případech se snižuje nosnost na 50% hodnoty WLL.
- Při vázání víceprarmenných vazáků je nutné přihlídnout k úhlu sklonu (alfa) případně k úhlu odklonu (beta) pramenů. Úhel beta k vertikále nesmí v žádném případě přesáhnout 60°. Úhel alfa mezi protějšími prameny nesmí přesáhnout v žádném případě 120°. Hodnoty koeficientů a WLL tří- a víceprarmenných vazáků uvedených dále v tabulkách, jsou správné jen za předpokladu, že zátěž je rovnoměrně rozložena mezi všechny prameny. Pokud není spolehlivě zajištěno rovnoměrné zatížení všech pramenů tří- a víceprarmenného vazáku, je nutno považovat pouze dva za nosné.



dvouprarmenný



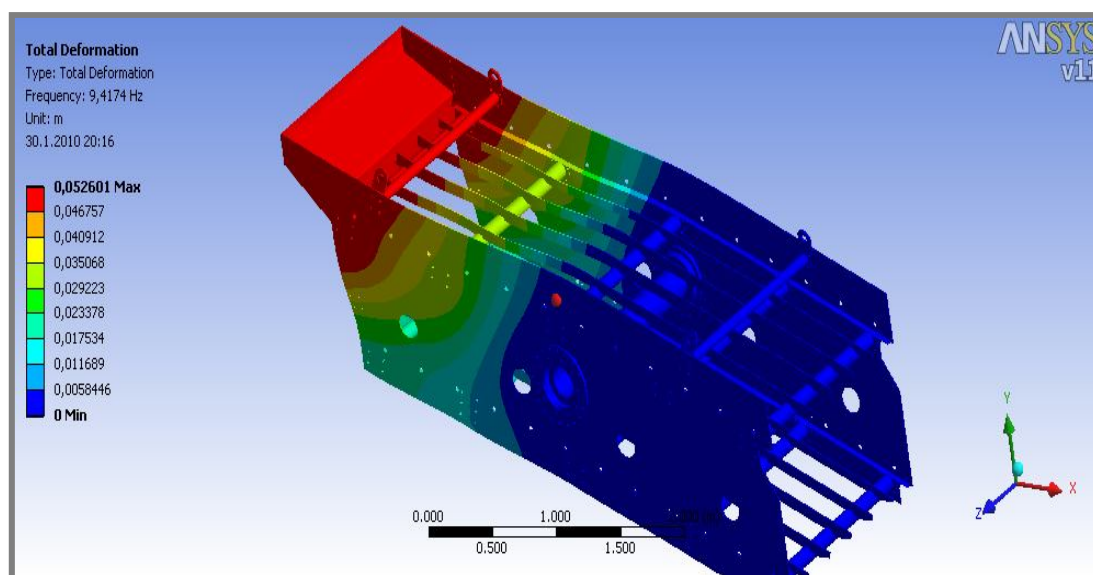
tříprarmenný



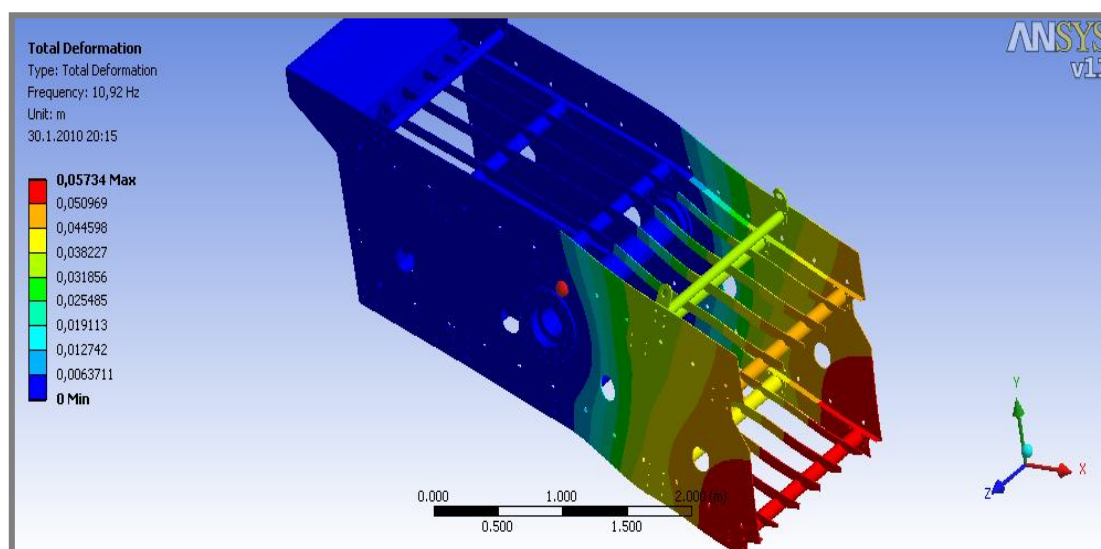
čtyřprarmenný

Příslušenství pro vázání břemenem dodáváme v rozsahu uvedeného přehledu. Podrobné technické údaje a cenové nabídky zašleme na vyžádání obratem. Příslušenství dodáváme jako součást vazacích prostředků nebo samostatně.

Příloha 2. Modální analýza 9,4Hz



Příloha 3. Modální analýza 10,9 Hz



Příloha 4. Výroba skříně třídiče



Příloha 5. Sestavení semimobilního třídiče



Příloha 6. Zástavba do linky

